

PROCESOS EROSIVOS ASOCIADOS A EVENTOS TORRENCIALES EN ÁREAS INCENDIADAS: UN CASO DE ESTUDIO EN EL MONTE FARO (GALICIA)

M. Álvarez Enjo; B. Soto; R. Pérez & F. Díaz-Fierros

Departamento de Edafología, Universidad de Santiago. 15706, Santiago. Spain

RESUMEN

Se analiza la respuesta hidrológica y la erosión de una pequeña cuenca que había sido quemada en un 70% de su superficie ante un evento lluvioso de elevada intensidad. La cuenca está situada en la ladera oeste del Monte Faro (Lalín, Pontevedra) y su superficie es de 1.09 km², con una pendiente media de 19%. Las precipitaciones, que dieron lugar al episodio estudiado, tuvieron su origen en una tormenta de origen convectivo que descargó un intenso aguacero sobre la zona. Debido al carácter fuertemente local de la tormenta no se registraron precipitaciones en las estaciones climatológicas más próximas, por lo que el caudal máximo fue determinado a partir de la huella dejada por la avenida. Mediante la aplicación de los métodos hidráulico y racional se obtuvo un valor de caudal máximo de 22 m³ s⁻¹. La erosión asociada a la avenida fue muy elevada, llegando a formarse en las zonas de concentración de los flujos superficiales, cárcavas con profundidades superiores a 1 metro. En las zonas de vaguada o frente a muros verticales la deposición de sedimentos alcanzó alturas superiores a 50 cm.

INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocido el papel de la vegetación en el control de las avenidas y en

la regulación de los caudales de los ríos, así como su papel en el control de la erosión hídrica, disminuyendo la pérdida de suelo en áreas de buena cobertura vegetal hasta valores prácticamente insignificantes.

Los incendios forestales suponen una importante modificación del régimen hídrico de las zonas afectadas, debido a sus efectos en la vegetación y en el suelo. Entre los efectos de los incendios forestales sobre el suelo, cabe señalar la obstrucción de su sistema poroso (debido a la pérdida de estructura y a la deposición de cenizas), la formación de costras y el aumento de la hidrofobia del suelo (DEBANO, 1981; SOTO *et al.*, 1994; SOTO *et al.*, 1998); modificaciones que inciden en una disminución de la tasa de infiltración de agua en el suelo y por lo tanto una mayor cantidad de agua que puede discurrir por la superficie del terreno. Entre los efectos relacionados con la vegetación, es de destacar el aumento de la energía de impacto de la lluvia, la disminución de la pérdida de agua por transpiración, el aumento de la pérdida de agua de las capas superficiales por evaporación directa y el aumento de la velocidad de los flujos superficiales de agua (SOTO *et al.*, 1993).

Las modificaciones antes comentadas suponen en su conjunto un aumento de la escorrentía superficial y de la capacidad erosiva de la misma, y por lo tanto un riesgo

notorio de fuertes avenidas que a su vez conllevarían elevadas tasas de erosión del suelo.

En Galicia estos riesgos elevados de erosión están presentes principalmente durante los primeros episodios de lluvia después de los incendios de verano, prolongándose hasta los 6 meses, dado que la cubierta vegetal se regenera con relativa rapidez (CASAL *et al.*, 1990).

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento hidrológico y los efectos erosivos de una zona de matorral quemada, que posteriormente se vio afectada por una tormenta de elevada intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

Se ha considerado una cuenca de 1.09 Km² de área, situada en la ladera oeste del Monte Faro (42° 37' N, 7° 55' W), a una altitud entre 800 y 900 metros. La vegetación existente en ella antes del incendio estaba compuesta por un matorral de *Ulex*

europaeus, *Cytisus scoparius* *Erica cinerea* y *Erica* spp. El material geológico es granito y los suelos dominantes son Leptosoles líticos, Leptosoles úmbricos y Regosoles úmbricos (FAO, 1990). La pendiente media es de 18.8%, habiendo una diferencia altitudinal entre las cotas del nacimiento del río y el cierre de la cuenca de estudio, de 87 m; la longitud del río en este tramo es de 1.11 Km.

La cuenca estudiada había sido afectada por el incendio en un 70%. En la Figura 1 se muestra el mapa topográfico de la zona afectada por el incendio y la cuenca delimitada para nuestro estudio.

Climatología

El incendio forestal se había producido a finales de verano, en la segunda quincena del mes de Agosto de 1998; el 21 de Septiembre a las 18 horas se desató una violenta tormenta, con abundancia de granizo, que en menos de una hora generó la mayor parte de la precipitación que dio lugar al desbordamiento del río y a los sucesos que

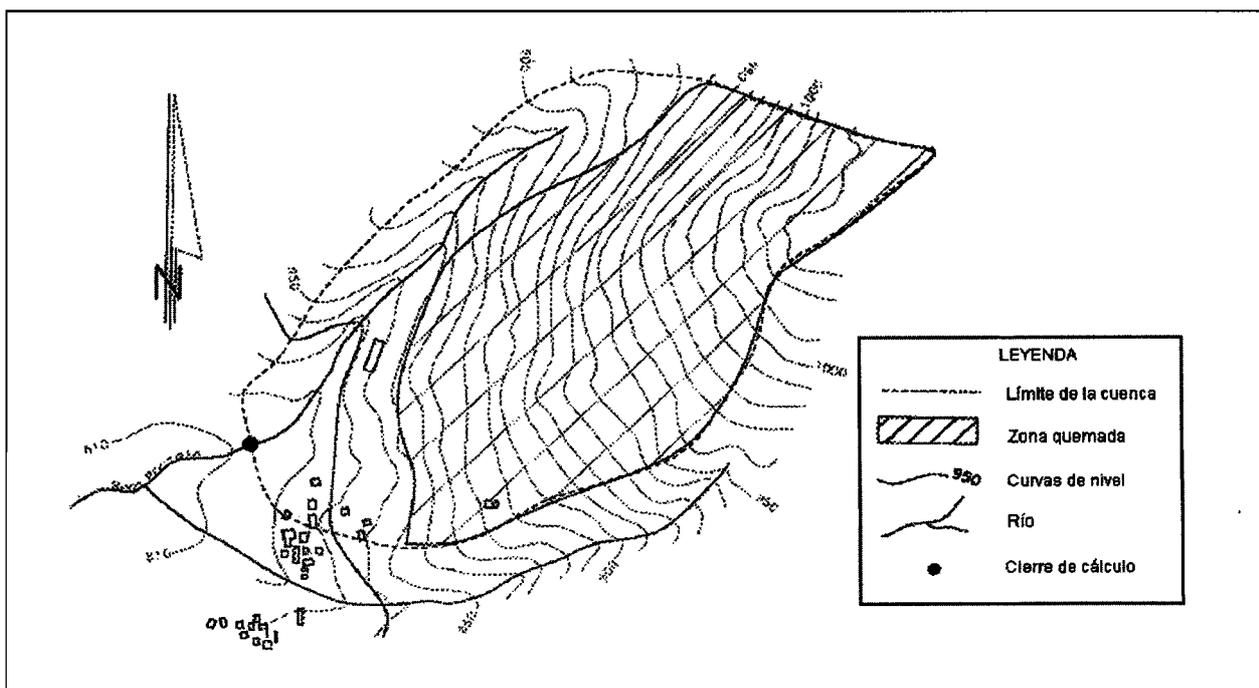


Figura 1. Representación cartográfica de la cuenca de estudio, en la que se ha delimitado el área afectada por el incendio

Tabla I. Precipitaciones (mm) registradas en las estaciones climatológicas del Centro Meteorológico Territorial (C.M.T.) de Galicia el día 21 de Septiembre de 1998

Estación	Precipitación	Estación	Precipitación
Lugo	5.0	Montederramo	9.0
Laroco	12.2	Ponte Lor	21.1
O Invernadeiro	7.0	Puebla de Brollón	9.0
Viana do Bolo	10.5	Bóveda	23.3
Puebla de Trives	53.0	Monforte de Lemos	27.5
Aciveiros	15.0	Montemedo	8.0
Vega de Braña	11.0	Allariz	5.9
Folgozo do Caurel	8.5	Muiños-Prado	23.3

lo acompañaron. El fenómeno tuvo un origen muy local, pues en el Observatorio de Rodeiro, situado a 4 km de distancia, no se registro precipitación alguna. En el resto de Galicia, salvo en el entorno de las montañas de Manzaneda y O Caurel no se registró tampoco ninguna lluvia. En estas zonas, las lluvias también tuvieron un carácter tormentoso, pero su intensidad fue baja o moderada (Tabla I).

El origen de estas lluvias así como las de la zona de O Faro, objeto de este estudio, se debieron a un proceso convectivo relacionado con las elevadas temperaturas que se

dieron en Galicia en los días precedentes (Tabla II).

El día 21 comenzó la penetración de aire húmedo de un frente oceánico próximo (que se puede detectar en el descenso de las temperaturas de ese día) que alimentó la corriente ascensional convectiva y dio origen a los fenómenos localizados de tormentas. La proximidad de las zonas montañosas favoreció el desarrollo de corrientes convectivas y activó el proceso ciclónico de génesis de lluvia. Posiblemente, el hecho de que O Faro fuera la primera cadena montañosa a sotavento de la corriente convectiva que se

Tabla II. Temperaturas máxima y mínima registradas en varias estaciones climatológicas del C.M.T. de Galicia los días 18, 19, 20 y 21 de Septiembre de 1998

		Día			
		18	19	20	21
Labacolla	Max.	30.6	30.3	30.8	26.2
	Min.	11.2	13.2	13.7	13.0
Mouriscade	Max.	31.0	30.7	29.1	28.0
	Min.	10.6	11.0	10.0	10.6
Fornelos	Max.	28.5	27.1	27.0	25.1
	Min.	18.0	19.1	17.2	17.0
Monforte	Max.	33.0	34.0	33.0	32.0
	Min.	12.0	13.0	16.0	17.0
Sergude	Max.	32.5	31.0	29.5	25.5
	Min.	12.5	13.5	14.0	19.5

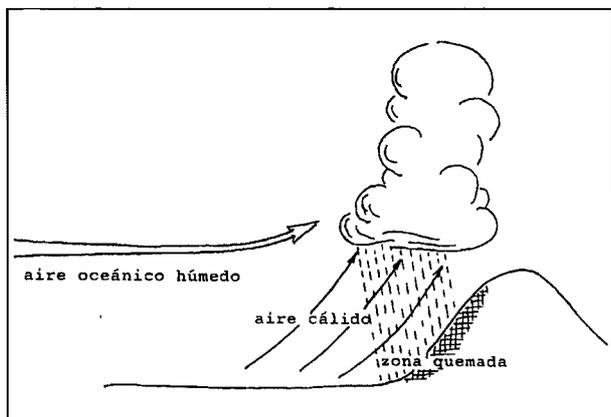


Figura 2. Representación esquemática del proceso meteorológico que originó las lluvias torrenciales en el Monte Faro

alimento del aire húmedo oceánico pudo ser una de las justificaciones de la violencia del fenómeno (Figura 2).

Estudio hidrológico de la cuenca

Como se ha señalado, no disponemos de la lámina de precipitación registrada ese día, y no es posible inferir los volúmenes de escorrentía generados en la cuenca partiendo de la precipitación, asignando unos porcentajes de escorrentía a las distintas partes de la cuenca. Por ello, para calcular el caudal de la

avenida hemos utilizado las huellas dejadas por la misma en los campos adyacentes a los márgenes del río, estimando así el caudal máximo registrado.

Para determinar el área de la sección mojada por la avenida, se ha realizado el perfil topográfico del área afectada (Figura 3).

RESULTADOS

Para el cálculo del caudal máximo registrado en la cuenca durante el episodio de lluvia hemos utilizado dos de los métodos tradicionales de cálculo de caudales máximos: el Método Hidráulico (VEN TE CHOW, 1994) y el Método Racional (DUNE y LEOPOLD, 1978).

Método Hidráulico

El Método Hidráulico determina el caudal mediante la expresión:

$$Q = A V \quad (1)$$

en la que Q es el caudal ($m^3 s^{-1}$), A es el área mojada de la sección transversal (m^2) y V es la velocidad media de la corriente ($m s^{-1}$).

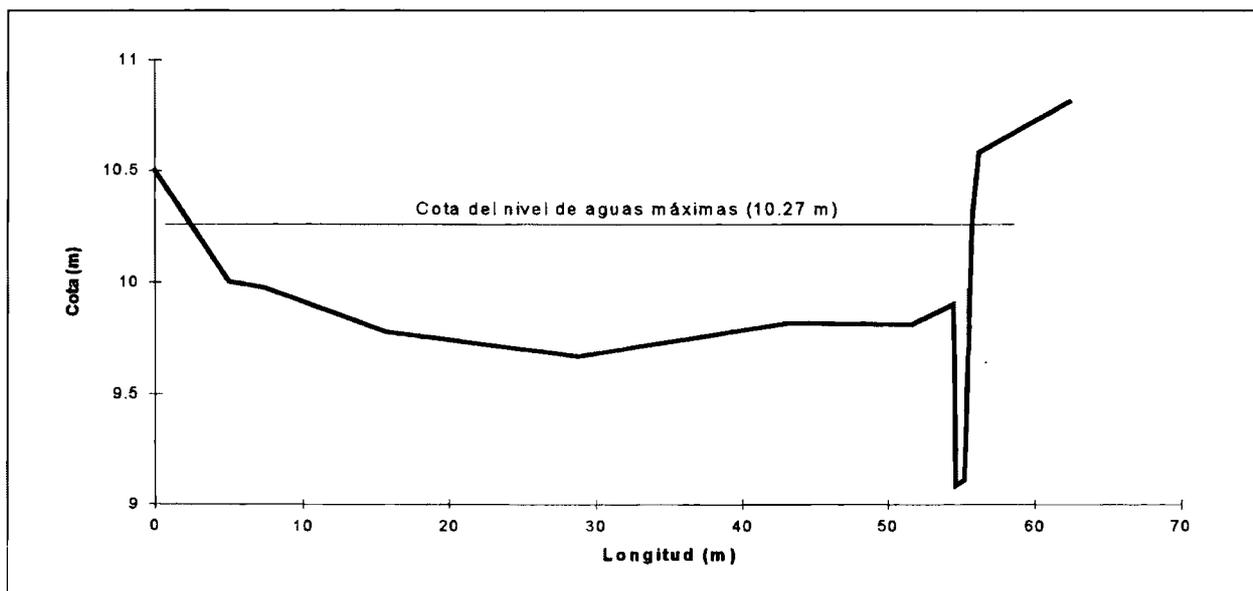


Figura 3. Perfil topográfico de la sección transversal en el cierre de cálculo de la cuenca de estudio

Para la obtención de la velocidad media (V) utiliza la expresión:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

donde R es el radio hidráulico (m), S es la pendiente del cauce ($m\ m^{-1}$) y n es el coeficiente de rugosidad del cauce.

En este caso, para el caudal máximo (reconocido por las huellas dejadas por la avenida en los márgenes del río), el área mojada (A) fue de $25.4\ m^2$; el radio hidráulico (R), relación entre el área de la sección mojada y el perímetro, fue de 0.46 ; a pendiente del cauce (S) es de $0.05\ m\ m^{-1}$; y el coeficiente de rugosidad del cauce (n) fue de 0.15 , valor considerado para canales con raíces, matorrales y restos de árboles (VEN TE CHOW, 1994). Por lo tanto, la velocidad media de la corriente fue de $0.89\ m\ s^{-1}$ y el caudal máximo registrado de $22.6\ m^3\ s^{-1}$.

Método Racional

El Método Racional calcula el pico de avenida mediante la expresión:

$$Q = 16.67\ C\ I_{max}\ T_D\ A_c \quad (3)$$

donde Q representa el caudal en $m^3\ s^{-1}$, C es el coeficiente de escorrentía (adimensional), $I_{max\ T_D}$ representa la intensidad máxima de las precipitaciones correspondientes a un periodo de retorno T y una duración D . y A_c es el área de la cuenca.

El valor del coeficiente de escorrentia (C) se ha seleccionado a partir de valores tabulados existentes, en función de la pendiente de la cuenca, el tipo de suelo y vegetación (VEN TE CHOW, 1994). Atendiendo a las características de la cuenca se delimitaron dos zonas, con un coeficiente de 0.80 para la zona quemada y de 0.25 para la zona no quemada, obteniendo un coeficiente de escorrentía ponderado para el conjunto de la cuenca de 0.64 . La elección de unos coefi-

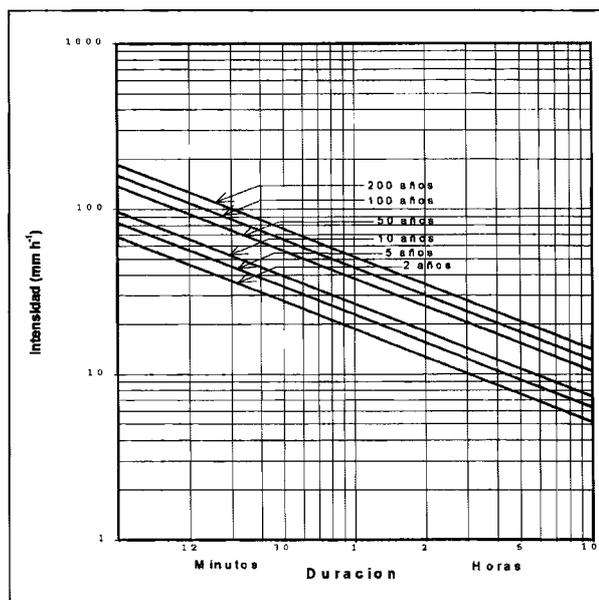


Figura 4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia elaboradas para Galicia

cientos de escorrentia tan elevados para la zona quemada, viene determinada por la manifiesta hidrofobia de los suelos, pudiéndose observar 5 días después de la tormenta que el agua apenas había penetrado de 2 o 3 cm de profundidad.

Por otra parte, dado que se considera que la duración de las precipitaciones es igual al tiempo de concentración de la cuenca, lo que es particularmente válido en la que estudiamos, por sus dimensiones reducidas, este se puede calcular mediante la expresión:

$$t_c = 0.02 \frac{Lr^{1.155}}{DH^{0.385}} \quad (4)$$

donde Lr es la longitud del río (m), y DH es la diferencia entre cotas entre el nacimiento y el cierre de la cuenca (m). Por lo tanto, el tiempo de concentración para la cuenca es de 11 min. Dado que no disponemos del valor de I_{max} debido a la ausencia de datos de precipitación, para el cálculo de la misma hemos utilizado las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia elaboradas para Galicia a partir de los datos de precipitaciones máximas publicadas por ICONA (1979) (Figura 4).

Debido a las características extraordinarias de este evento (los propios vecinos no recordaban episodios de lluvia de tal intensidad, y teniendo en cuenta la cota de inundación alcanzada), en las curvas I-D-F hemos considerado que el periodo de retorno podría estar entre 50 y 100 años. Para esos periodos de retorno y para una duración de la lluvia de 11 minutos, la intensidad media máxima obtenida es de 114 y 98 mm h⁻¹. Sustituyendo estos valores en la ecuación 3 obtenemos un caudal máximo de 22.2 y 19.0 m³ s⁻¹ para un periodo de retorno de 100 y 50 años respectivamente. Como se ve el caudal máximo obtenido por este método para un periodo de retorno de 100 años es similar al obtenido anteriormente mediante la aplicación del método hidráulico, lo que nos hace creer que estos valores están muy próximos a lo acaecido en la realidad.

Erosión del suelo producida durante la tormenta

La erosión del suelo asociada a este evento se manifestó de diferentes formas en función de las características topográficas del terreno o la presencia de caminos o pistas forestales.

En las zonas con pendientes regulares se observó una erosión laminar del terreno que provocó el arrastre de la mayor parte de los restos de vegetación y cenizas depositadas durante el incendio.

En aquellas zonas donde se produjo una concentración del flujo debido a la topografía del terreno se observó la formación de cárcavas de pequeño o medio tamaño. El tamaño de estas cárcavas estaba entre 10-15 cm de profundidad y longitud variable (desde algunos decímetros hasta unos pocos metros).

Por último en algunas zonas próximas a pistas forestales o cortafuegos se observó la presencia de cárcavas grandes. La formación de estas se debe a la canalización del agua por los caminos y cortafuegos, los cuales funcionaron como verdaderos cauces durante la tormenta. Cuando estas "canalizaciones" cambiaban bruscamente de dirección o

se desviaban de la línea de máxima pendiente se formaba en la zona de desagüe cárcavas que en algunos casos alcanzaron profundidades superiores a un 1 metro. El volumen de suelo erosionado que representó una de estas cárcavas, determinado a partir del cálculo de las dimensiones medias de la misma, fue de 4.8 m³. Si consideramos una densidad aparente del suelo de 0.9 g cm⁻³ resultaría una pérdida de suelo de 4350 kg. Teniendo en cuenta que estaba situada en una parcela de aproximadamente 0.15 ha la erosión resultante en esa parcela sería alrededor de 30 tm ha⁻¹.

La elevada erosión que se produjo en prácticamente toda la zona provocó que en las zonas en las que existían muros o cualquier otro obstáculo que disminuyese la velocidad de los flujos de agua se produjesen grandes acumulaciones de sedimentos, llegando a observarse en muchos lugares depósitos de sedimentos de más de 50 cm de altura y la formación de amplias zonas de sedimentación de materiales gruesos como gravas y piedras.

BIBLIOGRAFÍA

- DEBANO, L.F. (1981). *Water repellent soils: a state of the art*. Gen. Tech. Rep. PSW 46. Pacific Southwest Forest and Range Exp. USDA. Berkeley. USA. 21 pp.
- DUNE, T. and LEOPOLD, L.B. (1978). *Water in the environmental planning*. W.H. Freeman and Company. New York.
- CASAL, M.; BASANTA, M.; GONZÁLEZ, F.; MONTERO, R.; PEREIRAS, J. and PUENTES, A. (1990). *Post-fire dynamics in experimental plots of shrubland ecosystems in Galicia (NW Spain)*. En Fire and Ecosystem Dynamics. Goldammer and Jenkins (eds.). SPB Academic Publishing. The Hague (Holanda). pp. 33-42.
- FAO (1990). FAO/UNESCO: *Leyenda Revisada del Mapa de suelos del mundo*. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos N° 60. Roma.

ICONA (1979). *Precipitaciones máximas en España. Estimaciones basadas en métodos estadísticos*. MAPA, Monografía 21. Madrid.

VEN TE CHOW. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw Hill. Madrid.

SOTO, B.; BASANTA, R. y DÍAZ-FIERROS, F. (1993). Influence of wildland fire on surface runoff from a hillslope. *Acta Geologica Hispanica*.28(2): 95-102.

SOTO, B.; BASANTA, R.; BENITO, E.; PÉREZ, R. y DIAZ-FIERROS, F. (1994). *Runoff and soil erosion from burnt soils from Northwest Spain*. En Soil Erosion as a consequence of forest fires. Sala y Rubio (eds.). Geoforma Ediciones. Logroño. pp 91-98.

SOTO, B.; LÓPEZ, E. and DÍAZ-FIERROS, F. (1998). *Evidences of soil water repellency in shrub areas in Galicia (NW Spain)*. Abstracts of International Workshop Soil Water Repellency: Origins, Assessment, Occurrence, Consequences , Modelling and

Amelioration. Wageningen, Holanda. pp. 66.

VEGA, J. A., BARÁ, S., ALONSO, M., FONTÚRBEL, T. Y GARCÍA, P. 1987. Preliminary results of a study on short term effects of prescribed fire in pine stands in NW of Spain. *Ecología Mediterránea*, 13: 177-188.

VEGA, J. A.; CUIÑAS, P.; BARÁ, S.; FONTÚRBEL, M. T.; SANTOS, J. A.; ROZADOS, M. J.; ALONSO, M.; BELOSO, M. C.; CALVO, E. 1993. *Forest Fire Prevention through Prescribed Burning: Experimental Study on Fire Effects on Litter and Soil*. Final report. CE/STEP-CT90-0087. 268 pp.

VEGA, J. A.; LANSBERG, J.; BARÁ, S.; PAYSSEN, T.; FONTÚRBEL, M. T.; ALONSO, M. 1998. *Efectos del fuego prescrito bajo arbolado de P. pinaster en suelos forestales de Galicia y Andalucía*. En: Taller sobre empleo de quemas prescritas para prevención de incendios forestales. S.E.C.F. Lourizán. 10-13 Nov. 15 pp.