

# **VALORACION DE LOS DIFERENTES METODOS EMPLEADOS EN GALICIA PARA LA MEDIDA DE LA EROSION DE LOS SUELOS, CON ESPECIAL REFERENCIA A LOS SUELOS AFECTADOS POR INCENDIOS FORESTALES.**

Francisco Díaz-Fierros Viqueira\*  
Rogelio Pérez Moreira\*

## **RESUMEN**

Se analizan críticamente los diferentes métodos empleados en Galicia para la medida de la erosión de los suelos: métodos teóricos de cálculo de la Erosividad Climática, métodos experimentales de medida del material en suspensión que arrastran los ríos, medida de la pérdida de suelo en mini-cuencas experimentales o según el recubrimiento de jalones enterrados, y medida microtopográfica del nivel del suelo. Se analiza también la erosión en Galicia durante el periodo histórico, según los diagramas polínicos de sedimentos y la documentación histórica.

## **SUMMARY**

Several methods for assessing soil erosion that are being applied in Galicia are critically reviewed: theoretical methods of calculation of the Climatic Erosivity, experimental methods of estimate the suspended material carried by streams, measurement of soil loss in experimental micro-basins or according to the cover of buried stakes and microtopographic measurements of soil level. Erosion in Galicia for the Historical Period is also analyzed, according to pollinic diagrams of sediments and to historical documentation.

En Galicia, aunque normalmente se considera que sus suelos están bien protegidos de los riesgos de erosión, han tenido lugar diversos episodios erosivos del suelo, algunos muy recientes, y existen suficientes indicios históri-

\* Departamento de Edafología. Facultad de Farmacia. Santiago de Compostela.

cos que permiten atribuir su causa a la intervención humana, por la deforestación y por determinadas prácticas agrícolas. Torras et al. (1977); Torras, Gil, Díaz-Fierros (1982); Saa, Díaz-Fierros (1983); Díaz-Fierros, Basanta, Casal (1983). Resultado de esta sucesión de procesos erosivos son la aparición en los suelos de ladera del testimonio de varios ciclos en su formación, como líneas de piedras o discontinuidades en el perfil del suelo, Guitián Ojea, Carballas (1968); Mücher et al. (1972). En la actualidad, y como consecuencia de los múltiples incendios forestales que vienen repitiéndose año tras año, se han podido constatar pérdidas de suelo por erosión en niveles muy preocupantes, además de una notoria transformación en la fisionomía del paisaje, Díaz-Fierros, Pérez Moreira (1984).

## 1. DATACION DE LOS PERIODOS EROSIVOS

### 1.1. *Testigo polínico*

Un primer registro por el que pueden relacionarse los procesos erosivos con los períodos desforestadores son los diagramas polínicos. En Galicia se han realizado estos diagramas en los sedimentos de los marjales de algunas de sus rías y en pequeñas cubetas sedimentarias del interior, Jato (1974); Torras et al. (1977), (1982); Saa et al. (1983). Fig. 1.

Características comunes de todos los diagramas polínicos de Galicia son: un mínimo de polen arbóreo que puede situarse a inicios del S. XIX por ser posterior a la introducción del maíz y antes de la aparición de polen del pino de repoblación; otro mínimo, de menor entidad, que se puede datar entre los siglos XIII y XV y, por último, otro mínimo, ya bien acusado, seguramente de la transición del Subboreal al Subatlántico, coincidente con el periodo final del Neolítico. Acompañando a estos mínimos de polen arbóreo aparecen un cortejo de plantas, bien indicadoras de la actividad desforestadora por el fuego, como *Asphodelus Plantago*, o de la degeneración de la sucesión vegetal, como son los brezales de ericáceas que aparecen en los registros polínicos de los periodos más recientes.

La relación de los periodos desforestadores con los episodios erosivos se puede asegurar por coincidir estos mínimos de polen arbóreo en los sedimentos con un más bajo porcentaje de carbono y un mayor tamaño medio de la composición granulométrica, lo que es indicativo de una mayor energía de arrastre de las aguas continentales durante estos periodos. Torras, Gil, Díaz-Fierros (1982); Saa Otero, Díaz-Fierros (1983).

### 1.2. *Testigo histórico*

La comprobación de que las acciones humanas están vinculadas a estos periodos desforestadores y erosivos que se correspondían con los mínimos

## METODOS PARA LA MEDIDA DE LA EROSION

de polen arbóreo en los diagramas polínicos viene dada por diversos indicios históricos los que, a la vez, también permiten hacer estimaciones sobre la importancia de los procesos erosivos de cada época, Díaz- Fierros et al. (1983).

Un primer indicio a considerar son las rozas, consistiendo en quemas periódicas del monte para el establecimiento de pastos o para la producción de una cosecha. Su desaparición en Galicia se inicia aproximadamente en el S. XIII siendo prácticamente culminada en el S. XVIII, permaneciendo hasta más tarde en las zonas más deprimidas, y todavía hoy quedan algunos reductos de esta práctica agrícola en las montañas orientales y surorientales de Galicia. Las rozas no deberían de haber ocasionado efectos erosivos importantes si se hubieran respetado los turnos de retorno de la vegetación, las quemas fueran poco intensas y se tuviera cuidado de los riesgos de erosión.

El consumo de leña para uso doméstico fue otro factor deforestador importante, pudiendo ser estimado en paralelismo con el incremento de la población, suponiendo una tasa de consumo de  $0,5 \text{ m}^3$  per cápita. Por esta causa podría explicarse el mínimo de polen arbóreo que se situaba entre los siglos XIII y XV, añadido a que al aumentar la población también hubieron de roturarse para el cultivo nuevas tierras de monte.

16

La construcción de viviendas y la construcción naval, que tuvieron su apogeo en los siglos XV y XVI, supusieron importantes talas de bosque, lo que dio lugar a numerosos pleitos que hoy nos sirven como documentación, junto con la referente al comercio de la madera.

De mayor trascendencia en la deforestación fueron las ferrerías, cuya actividad e influencia está bien documentada. Pueden estimarse mediante diversos cálculos las Tm de carbón vegetal y de madera que se precisaron por cantidad de hierro producido. Otro motivo que diezmó nuestros bosques fue la necesidad de madera para traviesas de ferrocarril, mucha de ella exportada desde Galicia y que también se puede estimar, según los Km de vía trazados cada año.

Todos los anteriores factores contribuyeron al mínimo de polen arbóreo que fue señalado a inicios del siglo XIX, y existen diversos testimonios de la época que hablan de la progresiva colmatación y reducción de la navegabilidad de las Rías del Norte de Galicia, y del Cantábrico en general, como consecuencia de ello.

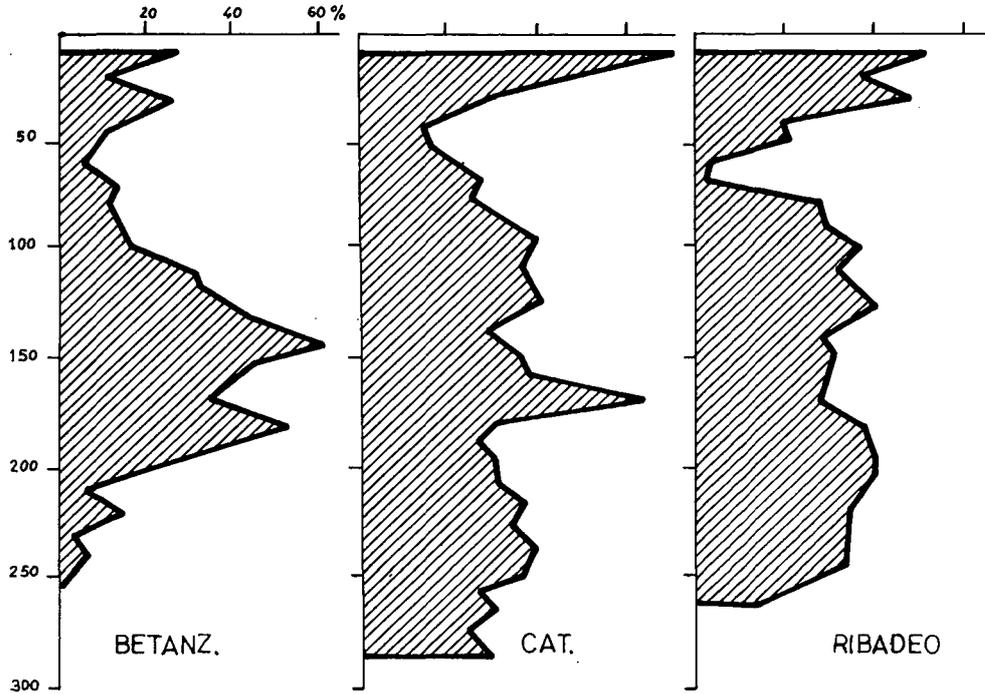


Figura 1. Evolución del porcentaje de polen arbóreo en tres sedimentos marsh de estuario (Betanzos, Catoira, Ribadeo). P. SAA, 1983.

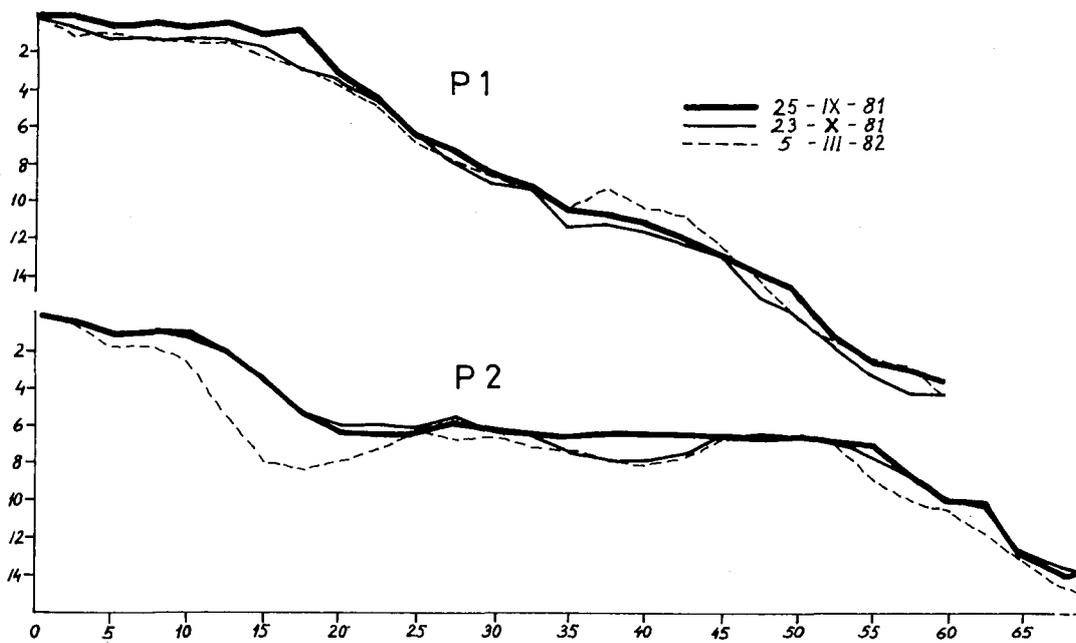


Figura 2. Evolución del perfil microtopográfico del suelo en dos tramos de la misma ladera (P1 y P2).

## METODOS PARA LA MEDIDA DE LA EROSION

### 2. METODOS TEORICOS DE CALCULO DE LA EROSIDIDAD POTENCIAL

La capacidad erosiva de las lluvias viene dada, en parte por su impacto contra el suelo, lo que depende de la intensidad de la lluvia, y por otro lado influye la capacidad de arrastre superficial de las partículas, que básicamente depende de la cantidad de agua caída y que no se infiltra en el suelo.

Clima semiárido	Cl. mediterráneo	Cl. Tropical	Cl. Oceánico
Zaragoza 31,4	S. Francisco 77,6	Bombay 502,9	Brest 103,4
Orán 49,4	Barcelona 54,3	V. Cruz 259,3	Lyon 70,7
Dakar 171,3	Palma 48,7	Miami 163,1	Cardiff 60,0
Luanda 78,2	Beirout 141,0	Colombo 244,9	Gembloux 52,2
GALICIA: A Coruña 94,6	Santiago 144,1		
Vigo 139,2	Labacolla 187,3		

Tabla n.º 1: Índice de Erosividad Climática FAO-UNEP 1977.

De los diferentes índices de Erosividad Climática el más conocido es el factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), de Wischmeier et al. (1958). Dada la complejidad de su cálculo es más práctico utilizar una simplificación de este índice propuesta por la FAO/UNEP (1977) para el que hemos comprobado su buena relación con el primero ( $r=0,98$ ). La magnitud del potencial erosivo de la lluvia en Galicia, según este último índice, se puede apreciar en la Tabla n.º 1, siendo sólo superado en el contexto mundial por estaciones de Clima tropical y alcanzando valores próximos algunos puntos muy aislados bajo clima mediterráneo. De todas formas, esta elevada Erosividad Climática no supondría riesgo de erosión alguno si el suelo estuviera protegido por una cubierta vegetal densa, como sería la situación normal en Galicia. El problema erosivo se presenta únicamente cuando, por los incendios u otra causa, los suelos son desprovistos de esa cubierta vegetal protectora.

### 3. METODOS EXPERIMENTALES DE MEDIDA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSION QUE APORTAN LOS RIOS

El estudio del material en suspensión que aportan los ríos gallegos, aun cuando no representa la pérdida real de suelo sino que más bien es un balance de erosión-sedimentación entre los diversos puntos de sus cuencas y que difiere más de la realidad cuanto mayor es el tamaño de éstas, son estas medidas, sin embargo, de gran importancia, puesto que permiten comparaciones a nivel mundial.

F. DIAZ-FIERROS VIQUEIRA, R. PEREZ MOREIRA

Estación	Cuenca km <sup>2</sup>	Aportaciones		Mat. susp mgr/1	Er. real M. susp.	Arrastre M. susp. Tm/Km <sup>2</sup> / año	E. real Tm/Ha/ año
		media Específica (Hm <sup>3</sup> )	(mm)				
Miño-Lugo (M <sub>1</sub> )	2.303	1.433	622	7,6	5,0	4,7	0,94
Miño-Orense (M <sub>2</sub> )	12.926	9.465	732	6,7	5,0	4,9	0,98
Sil-Barcena (S <sub>1</sub> )	860	833	1.032	7,6	7,0	7,8	1,11
Sil-S. Pedro (S <sub>2</sub> )	7.989	5.334	668	7,9	5,0	5,3	1,06
Cabrera-Pte.D.F.(C)	560	431	769	8,8	7,5	6,8	0,91
Tambre-Portom. (T)	1.146	1.207	1.053	8,8	5,8	9,3	1,60
Navia-Doiras (N)	2.289	2.246	981	6,3	5,0	6,2	1,24
Eo-S. Tirso (E)	712	732	1.028	5,5	6,5	5,6	0,86
Dnieper						4,0	
Ovina						6,0	
Volga						18,6	
Onega						4,0	
Yenisei						4,0	
Ural						18,6	
Don						18,3	

Tabla n.º 2: valor medio del material en suspensión de algunos ríos gallegos y balances de erosión-sedimentación correspondientes. Erosión real según relación de Amer. Soc. of Civil Engineers, 1975. Material en suspensión de otros ríos europeos.

Según se puede observar en la Tabla n.º 2, la intensidad del transporte en suspensión de algunos ríos gallegos, entre 5 y 10 Tm/Km<sup>2</sup>/año, es equivalente a la de los ríos europeos de ámbito atlántico. Para estimar las pérdidas reales de suelo en aquellas zonas de la cuenca que realmente están sometidas a erosión (no únicamente un balance erosión-sedimentación), puede usarse una relación que la American Society of Civil Engineers (1975) establece con el tamaño de la cuenca y, según ello, los valores de erosión se incrementan a 80-160 Tm/Km<sup>2</sup>/año (equivalente a 0,8-1,6 Tm/Ha/año). Estos valores, de todos modos, pueden ser considerados como normales, de acuerdo con las características orográficas y climáticas de Galicia y considerando que al menos un 70% de sus suelos están protegidos bajo una cubierta vegetal densa; la novedad es que en los últimos años se aprecia como tendencia generalizada un incremento de un 30% sobre los valores anteriores del material en suspensión transportado, incremento casi con seguridad atribuible a los incendios forestales.

#### 4. METODOS EXPERIMENTALES DE MEDIDA DE LA EROSION EN SUELOS INCENDIADOS

Ya se señaló más arriba que el problema erosivo aparece cuando el suelo queda desprovisto de su cubierta vegetal protectora, como ocurre en diverso grado tras un incendio, dependiendo mucho de la intensidad del mismo y del tipo de vegetación de que se trate, a lo que habría que añadir otros factores relacionados con la erodibilidad del suelo, como su hidrofobia –influida por el contenido en materia orgánica–, textura, pendiente, etc., que afectan a la escorrentía superficial de las aguas de lluvia.

La erosión que tiene lugar tras un incendio es fundamentalmente de tipo laminar, con formación de típicas escalerillas, siendo escasas y de pequeño tamaño las cárcavas que aparecen.

##### 4.1. *Minicuencas experimentales*

En una parcela quemada de 400 m<sup>2</sup> y 18% de pendiente, estudiada por el Departamento Forestal de Zonas Húmedas (CRIDA 01) de Lourizán (Vega et al., 1981) fue medida una erosión de 22 Tm/Ha/año, mientras que la erosión teórica, determinada por la USLE, duplicaba a los valores reales medidos. Por otra parte, la escorrentía era unas 80 veces mayor en esta parcela quemada que en otra usada como testigo.

Estudiada también la “erosión química”, o pérdida de fertilidad del suelo, se vio que el contenido en nutrientes de la capa superficial del suelo perdido al cabo de un año al comparar con el que había inmediatamente después del incendio fue un 8% de fósforo, 12% de calcio y potasio, y un 15% de magnesio; las pérdidas de estos nutrientes medidas en las aguas de escorrentía, para el sodio y el potasio son sensiblemente mayores que las pérdidas en materiales sólidos y, en comparación con la parcela testigo –sin quemar–, la pérdida de sodio es 36 veces mayor y la del potasio lo es 27 veces.

Dos pequeñas parcelas de 5 m<sup>2</sup> fueron acotadas recientemente por nosotros, siguiendo el modelo de Guerlach (1967) para la medida del flujo de agua superficial y de la sedimentación, con unas canaletas de cemento fijadas en el suelo de las que se deriva a unos depósitos que recogen el sedimento, pero de las que todavía no puede ofrecerse ningún resultado.

##### 4.2. *Jalones enterrados*

Las medidas de erosión mediante jalones enterrados en zonas de pendiente acusada, de acuerdo con el método de Schumm (1967), dieron como resultado para el año 1978-79, año excepcionalmente lluvioso, unos valores de erosión de 60 Tm/Ha/año (Díaz-Fierros, et al., 1982) mientras que, entre los años 1979 y 1982, la erosión medida aun siendo también muy importante

descendió a 40 Tm/Ha/año (Díaz-Fierros V., Pérez Moreira, 1984). Expresando las medidas de erosión en pérdida de suelo por mes, lo que permite observar mejor la evolución del fenómeno erosivo, resultaría: 15,8 Tm/Ha/mes en los dos primeros meses posteriores al incendio, 1,2 Tm/Ha/mes, entre los dos y los seis meses siguientes, y 1,1 Tm/Ha/mes entre los seis meses y el año.

Esta progresiva disminución de los valores de erosión en el transcurso de unos pocos meses es consecuencia del aumento de la cobertura vegetal del suelo, que a los seis meses puede cifrarse entre el 5 y el 25% (Casal et al., 1983), quedando sin embargo bien patente la rapidez con que se desarrolla el proceso erosivo pues al cabo de estos seis meses ya se habían erosionado más del 80% de las pérdidas totales de suelo que se registran.

#### 4.3. *Variaciones a nivel microtopográfico*

El control microtopográfico de la erosión se hizo por una adaptación del método de Ranger, G. (1978) que permite registrar medidas del perfil superficial del suelo con una exactitud milimétrica. Los controles efectuados en dos tramos de una misma ladera separados entre sí unos 25 metros mostraron la evolución que se observa en la Fig. 2: tras un periodo de aproximadamente un mes durante el que se recogió una precipitación de 115 mm., en el perfil 1 el descenso medio del nivel del suelo fue de 0,5 cm que a su vez se concentra en la parte inferior del mismo, mientras que en el perfil 2 los cambios son imperceptibles, salvo el ocasionado por una pisada de ganado. Transcurridos algo más de cuatro meses, con una precipitación acumulada de 635 mm, las diferencias aparecen ahora en el perfil 2, sobre todo por la apertura de un canalillo. Esta evolución nos viene a demostrar el carácter irregular y aleatorio del fenómeno erosivo.

### **5. DISCUSION DE LOS RESULTADOS DE EROSION EN ZONAS INCENDIADAS Y FACTORES CONDICIONANTES**

Los valores de erosión promedio en zonas incendiadas, deducidos del conjunto de las técnicas experimentales empleadas en Galicia, pueden cifrarse entre las 20 y 30 Tm/Ha/año para pendientes medias, si bien son muy superiores en ciertas condiciones particulares. Los valores de erosión determinados por minicuecas experimentales son inferiores a los obtenidos por medio de jalones enterrados, en parte debido a que en el primer caso lo que se registra es un balance erosión-sedimentación, como ya se señalara para las cuencas fluviales, aun cuando existe también una cierta diferencia en el grado de pendiente promedio entre ambas experiencias y, a la vez intervienen otros factores no comparados.

## METODOS PARA LA MEDIDA DE LA EROSION

La evolución estacional anteriormente señalada según el modelo de erosión rápida al principio y luego progresivamente más lenta, puede apreciarse en la Fig. 3. Esta evolución que no parece tan segura en el año 1979-80 aun cuando su representación gráfica depende tan sólo de dos puntos, se aclara al examinar la energía erosiva de las lluvias en esos tres años (Fig. 4), observándose que en el año 1979-80 es muy gradual su reparto estacional mientras que el caso contrario es el año 1978-79, donde la Erosividad Potencial presenta una mayor concentración invernal. Precisamente estos dos años representan bien las dos condiciones extremas que pueden aparecer en Galicia.

Los valores de erosión medidos experimentalmente son claramente dependientes del potencial erosivo de las lluvias, como puede apreciarse en la Fig. 5. El grado de pendiente no evidenció ser un factor influyente sobre la erosión, aunque su rango de variación en nuestras experiencias era muy reducido como para que pudiera manifestarse su efecto (Díaz-Fierros V., Pérez Moreira, 1984). Sí, se ha podido comprobar en cambio la influencia de la forma y posición de la ladera en la pérdida de suelo, observándose en la Fig. 6, para dos posiciones distintas en la ladera, que la erosión medida en períodos diferentes es mayor en donde se inicia el incremento de la pendiente.

Otros factores que se supone influyen en la erodibilidad del suelo, como su densidad aparente, la estabilidad de agregados y su conductividad hidráulica, no mostraron relación con los valores de erosión medidos (Díaz-Fierros V., Pérez Moreira, 1984). Respecto al material de partida, en nuestros resultados parece ser mayor la erosión en los suelos desarrollados sobre granito que en los desarrollados sobre esquisto o anfibolita. Esto parece contradecir las previsiones de la USLE que supone una mayor erodibilidad de los suelos limosos que en los de textura más gruesa, como es el caso de los desarrollados sobre granito. Sin embargo estos resultados concuerdan con otros del entorno europeo por lo que estaría en discusión la validez de algunos aspectos de la citada ecuación para nuestra área geográfica (Díaz-Fierros V., Pérez Moreira, 1984). De ser ello cierto, el problema erosivo se hace más dramático para Galicia, ya no solo por su elevada Erosividad Climática y por la rapidez con que se puede suceder la erosión, sino también por ser los suelos de ladera desarrollados sobre granito ya de reducida fertilidad y de excasa profundidad.

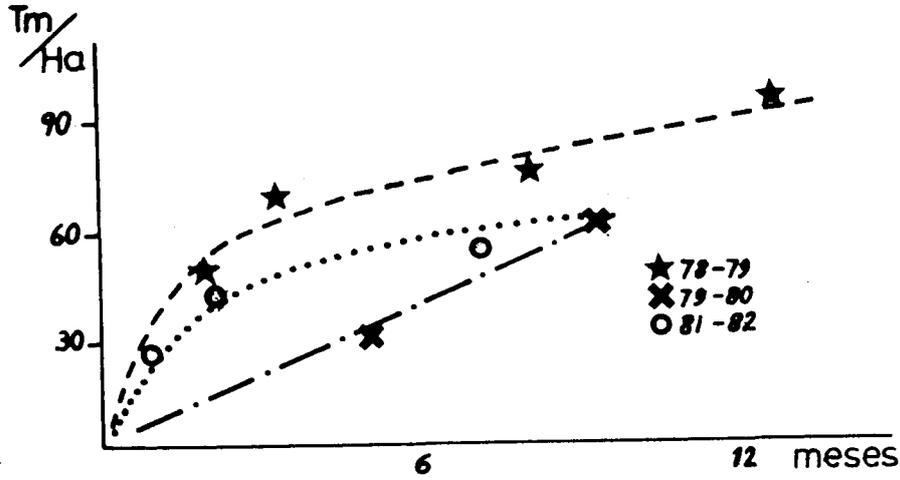


Figura 3. Evolución de la erosión en los 12 primeros meses para los tres años estudiados. Los datos de erosión se corresponden con los valores medios de los sitios muestreados en cada época.

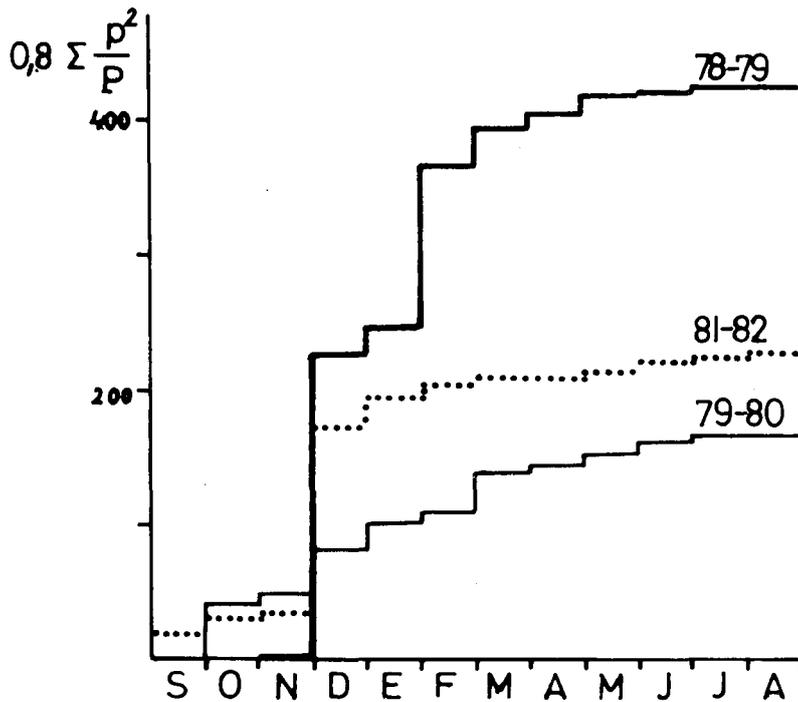


Figura 4. Valores de la erosividad potencial de la lluvia (en Tm/Ha) del Observatorio de Labacolla para los tres años, según la transformación  $0,8 \sum p^2/P$ .

METODOS PARA LA MEDIDA DE LA EROSION

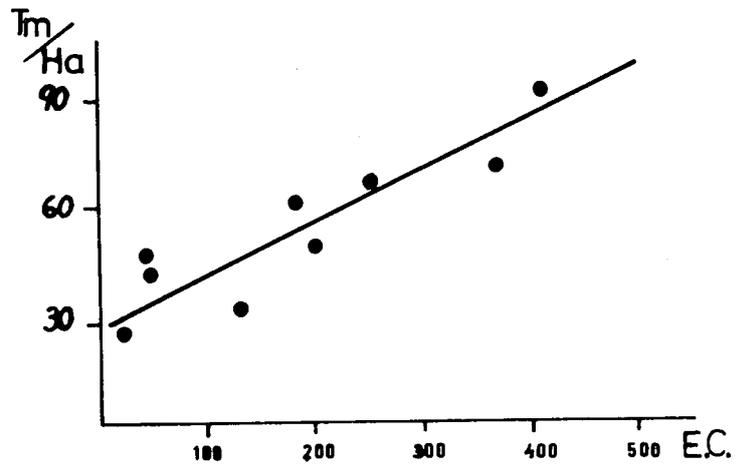


Figura 5. Relación entre la Erosividad Climática y los datos medios de erosión pedidos en cada época.

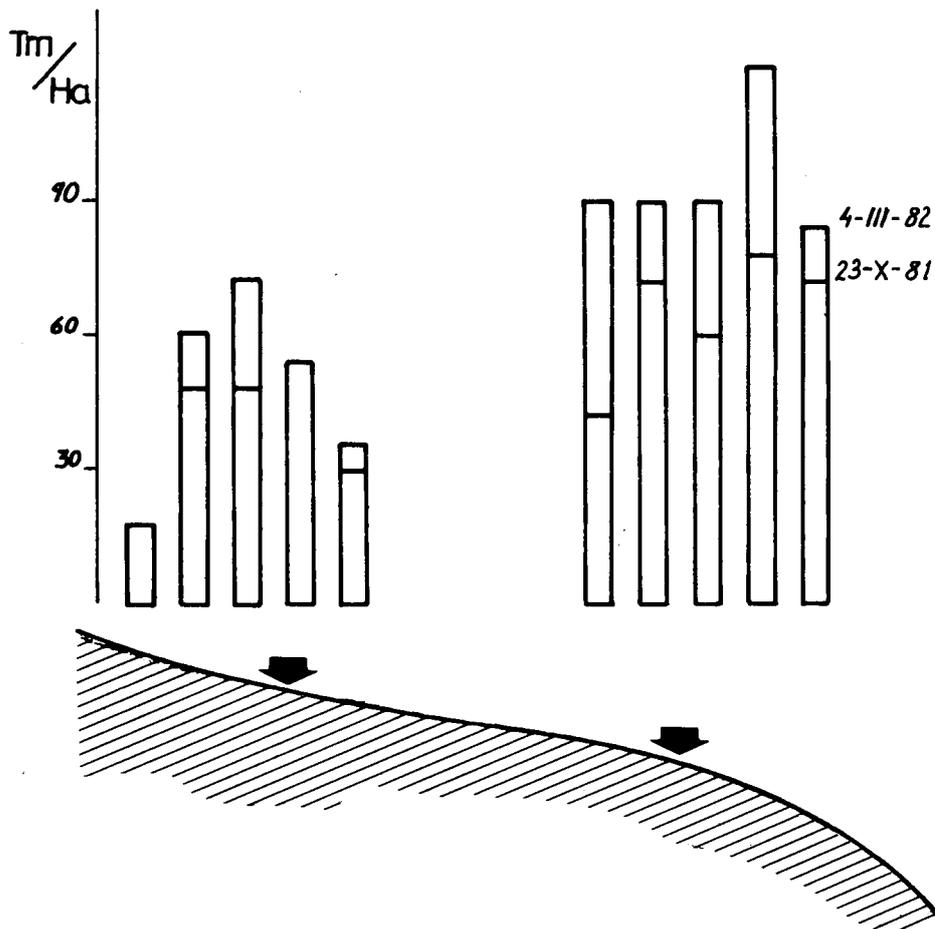


Figura 6. Erosión medida en dos posiciones distintas de una misma ladera, en dos épocas diferentes.

## BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1975). *Sediment Engineering*. Chp. IV.
- CASAL, M., BASANTA, M., GARCIA NOVO, F. (1983). *Ecología de la regeneración del monte tras incendio en Galicia*. En prensa.
- DIAZ-FIERROS, V., GIL SOTRES, F., CABANEIRO, A., ARBALLAS, T., LEIROS DE LA PEÑA, M.C., VILLAR CELORIO, M.C. (1982). Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrob.* XLI, 3-4. 627-639.
- DIEZ-FIERROS, F., BASANTA, M., CASAL, M. (1983). *Incendios forestales en Galicia. Sus causas, y efectos sobre el medio ambiente*. Dirección Gral. de Montes. Conselleria de Agricultura, Pesca e Alimentación. Xunta de Galicia. En prensa.
- DIEZ-FIERROS, V., F. PEREZ MOREIRA, R., (1984). *Nuevos datos sobre la influencia de los incendios forestales en la erosión del suelo en Galicia*. En prensa.
- FAO/UNEP (1977). *Assessing soil degradation*. FAO Soils Bull. núm. 34. Roma.
- GUERLACH, T. (1967). Hillslope troughs for measuring sediment movement. *Revue Geóm. Dyn.* 4, 173.
- GUITIAN OJEA, F., CARBALLAS, T. (1968). Suelos en la zona húmeda española. III. Ranker atlántico. *An. Edaf. Agrob.*, 27, 57-73.
- JATO RODRIGUEZ, V. (1974). *Contribución a la cronología de suelos por análisis de polen*. Tesis Doctoral. Fac. Biología. Santiago.
- MUCHER, H.J., CARBALLAS, T., GUITIAN OJEA, F., JUNGERIUS, P.D. KROONENBERG, S.B., VILLAR, M.C. (1972). Micromorphological analysis of effects of alternating phases of lanscape stability and instability on two soil profiles in Galicia, N.W. Spain. *Geoderma*, 8, 241-266.
- RANGER, G.E., FRANK, E. (1978). The 3-F Erosión Bridge. A New tool for measuring soil erosion. *Rang Improv. Stud.* Núm. 23. Dep. Forestry. California St.
- SAA OTERO, P., DIAZ-FIERROS, F., (1983). Análisis polínico de un sedimento de tipo marsh en la marisma de Catoira (Pontevedra). *Actas VI Reun. Gr. Esp. Trab. Cuaternario*.
- SCHUMM, S.A. (1967). Erosión measured by stakes. *Rev. Geomorph. Dynam.* 17, 161-162.

## METODOS PARA LA MEDIDA DE LA EROSION

- TORRAS, M.L. (1977). Crisis erosivas en el Cuaternario reciente en Galicia. *Actas III Reunión Gr. Trab. Cuaternario*. Zaragoza. 229-236.
- TORRAS TRONCOSO, GIL SOTRES, DIAZ-FIERROS (1982). Estudio de los suelos de la Sierra del Barbanza: 5). Las formaciones "campa". *An. Edaf. y Agrob.* XLI, 3-4, 547-568.
- VEGA, J.A., BARA, S., VILLAMUERA, M.A., ALONSO, M. (1983). *Erosión después de un incendio forestal*. Memoria interna del Depart. Forestal de Zonas Húmedas de Lourizán. CRIDA 01. I.N.I.A.

