

Cuadernos I. Geográfica	18-19	pp. 7-28	Logroño	1992-93
-------------------------	-------	----------	---------	---------

GENESIS Y CONSECUENCIAS EROSIVAS DE LAS LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD EN LA REGION MEDITERRANEA

F. LOPEZ BERMUDEZ* & M.A. ROMERO DIAZ*

RESUMEN. Desde siempre, los procesos de erosión de los suelos por el agua han presentado serios problemas, sobre todo, en aquellos territorios como los mediterráneos, en donde el vigor del relieve, frecuente escasa resistencia de los materiales, débil o nulo recubrimiento vegetal, lluvias de alta energía y deficiente gestión humana de los recursos, crean condiciones favorables a la degradación del suelo. En la Región Mediterránea española, la erosión de las tierras agrícolas y forestales, constituye uno de los más graves problemas ambientales.

La erosividad de las lluvias mediterráneas depende esencialmente de la intensidad y del volumen precipitado. El régimen pluviométrico que registran las lluvias en la Región Mediterránea, está caracterizado por su aleatoriedad y concentración en unos pocos días, particularmente en otoño. Lluvias de 100, 200 y hasta 300 mm., registradas en los pluviógrafos en pocas horas, liberan enormes cantidades de energía, cuyas consecuencias se hacen visibles por todas partes: elevadas pérdidas de suelo, abarrancamientos, socavamientos, desprendimientos, tubificaciones, abultadas sedimentaciones, inundaciones... La evaluación de los índices de erosión de los aguaceros, que constituye la base para la determinación del factor R de la U.S.L.E., presenta dificultades, sin embargo, los resultados de la eficacia erosiva de los violentos chaparrones, están omnipresentes por toda la Región Mediterránea.

ABSTRACT. Erosive processes of soil by water have always showed serious problems, mainly in those areas such as the Mediterranean environment, where the vigour of the surface, frequently low resistance of materials, little vegetation cover or bare ground, hard rainfalls and deficient management of resources, have led to favourable conditions for soil degradation. In the Mediterranean area of Spain agricultural and forest soil erosion is one of the most serious environmental problems.

The erosivity of Mediterranean rainfalls highly depends both on the intensity and on the volume of precipitations. Rainfalls in the Mediterranean area are characterized by their fortuitousness and their concentration in a few days, particularly in Autumn. Rainfalls of 100, 200 and even 300 mm, registered by pluviometers in a few hours period, release high amounts of energy whose consequences are visible everywhere: heavy soil losses, gullying, undermining, landsliding, piping, bulky sedimentations, flooding... The evaluation of erosion rates generated by rainfalls, which constitutes the basis for the determination of factor R of the U.S.L.E., presents some problems. However, the results of the erosive efficacy of heavy rainfalls are evident all over the Mediterranean area.

Palabras clave: Erosión, lluvias de alta intensidad, Mediterráneo.

Key words: Erosion, intensity high rainfall, Mediterranean area.

* Departamento de Geografía Física. Universidad de Murcia. Campus de la Merced. 30001 Murcia.

1. Introducción

El *clima*, es un parámetro dinámico de los *sistemas ambientales* que actúa en multitud de procesos. Su consideración en los estudios de modelado y erosión de suelos en el ámbito mediterráneo es básica y se justifica por muchas razones, entre otras por: 1) ser el factor determinante en el modelado del paisaje; 2) su significado en los procesos geomorfológicos e hidrológicos y 3) su importancia en los fenómenos químicos, biológicos y bioquímicos. De todas las variables climáticas, son las precipitaciones y las correlativas escorrentías las que liberan mayor energía en el modelado del paisaje terrestre, gran parte de la cual desencadena activos procesos de erosión en suelos y alteritas. Es el clima el que, sin duda, determina las grandes diferencias de erosión entre unas regiones y otras, a través del efecto directo del régimen de precipitaciones y del efecto indirecto sobre la cubierta vegetal. Es en las regiones con climas semiáridos donde se producen los mayores niveles de erosión hídrica, al registrarse unas lluvias moderadas, si bien con unos caracteres muy singulares entre los que la irregularidad y fuerte intensidad son los más destacables. Esta influencia del clima ha sido demostrada por muchos autores (FOURNIER, 1960; WISCHMEIER y SMITH, 1959; LOPEZ BERMUDEZ, 1973; DUNNE, 1977; ASCH, 1980; JANSSON, 1982; BRANDT y THORNES, 1987; AGUILO, 1989...) y se pone de manifiesto en las cartografías de la erosión a gran escala, donde puede contemplarse que las mayores tasas de erosión por agua son en las regiones semiáridas, como sucede en la región mediterránea.

En las tierras mediterráneas, la *erosión de los suelos* agrícolas y forestales por lluvias de alta intensidad, constituye uno de los más graves problemas ambientales. La agresividad climática, explicitada en precipitaciones de elevada energía, unida al vigor del relieve, frecuente escasa resistencia mecánica de los materiales, débil recubrimiento vegetal y, con frecuencia deficiente gestión humana de los recursos naturales, crean condiciones muy favorables para la degradación del más importante recurso primario del patrimonio natural, junto con el agua, que es el *suelo*.

2. La singularidad del clima mediterráneo

La erosión de los suelos y su degradación constituye una compleja y dinámica combinación de procesos que actúan de modo grave en las regiones mediterráneas, siendo el Sureste de la península Ibérica el área europea más seriamente afectada, con elevadas tasas de pérdidas de suelo y elementos nutrientes, así como un generalizado deterioro de las diversas propiedades del suelo (ALIAS et al. 1993), lo que se traduce en una marcada disminución del potencial biológico o productivo que puede conducir a la desertificación.

El carácter general de estos procesos es poco más o menos el mismo que en otras partes del globo terrestre, sin embargo, la intensidad es diferente ya que depende de las características y factores propios de *un espacio geográfico*

co de transición como es el mediterráneo (LOPEZ BERMUDEZ, 1989). El carácter de encrucijada que ofrece el clima mediterráneo, se halla determinado por la situación astronómica del mar y las tierras que lo bordean. Esta zona climática se encuentra entre la zona húmeda y boscosa templado-oceánica, afectada regularmente por borrascas asociadas al frente polar, y la zona seca del cinturón subtropical de altas presiones tan reacia a situaciones lluviosas.

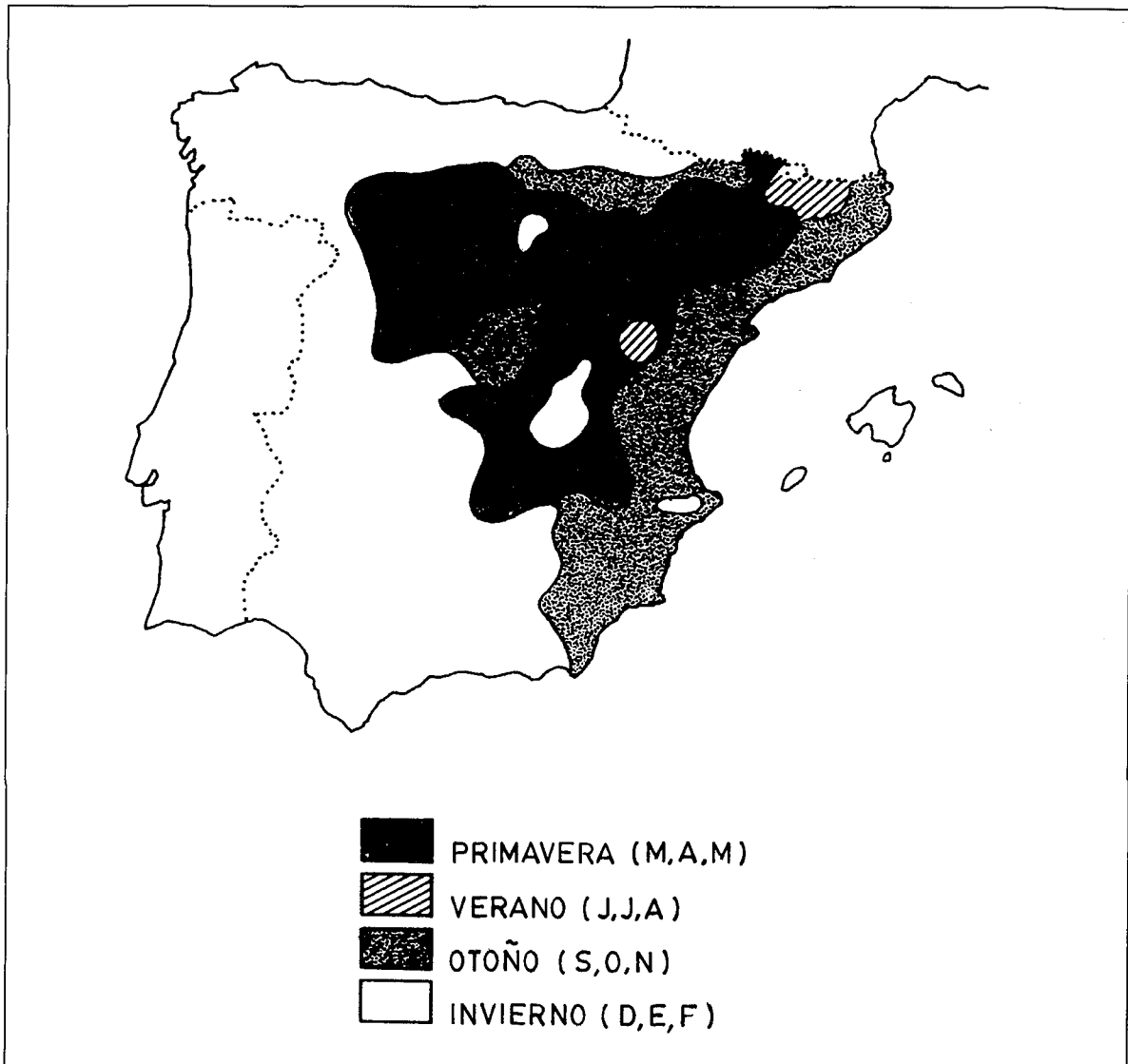


Fig. 1. Distribución de las estaciones de máximas precipitaciones en la península Ibérica.

El rasgo más significativo del clima mediterráneo es el máximo pluviométrico otoñal (Figura 1), que se corresponde con el régimen meteorológico específico del Mediterráneo Occidental (FONT TULLOT, 1983). La cuantía de las lluvias disminuye de norte a sur, salvo las importantes perturbaciones que introducen las montañas de las Cordilleras Catalanas, Sistema Ibérico y Cordilleras Béticas. A latitudes más bajas peninsulares, por el contrario, los

inviernos son más templados, los veranos más largos, calurosos y secos, y la *aridez* notablemente superior, lo cual incrementa acusadamente los riesgos de erosión hídrica de los suelos, sobre todo en xerosoles cálcicos, regosoles margálicos y fluvisoles calcáricos poco protegidos por la vegetación.

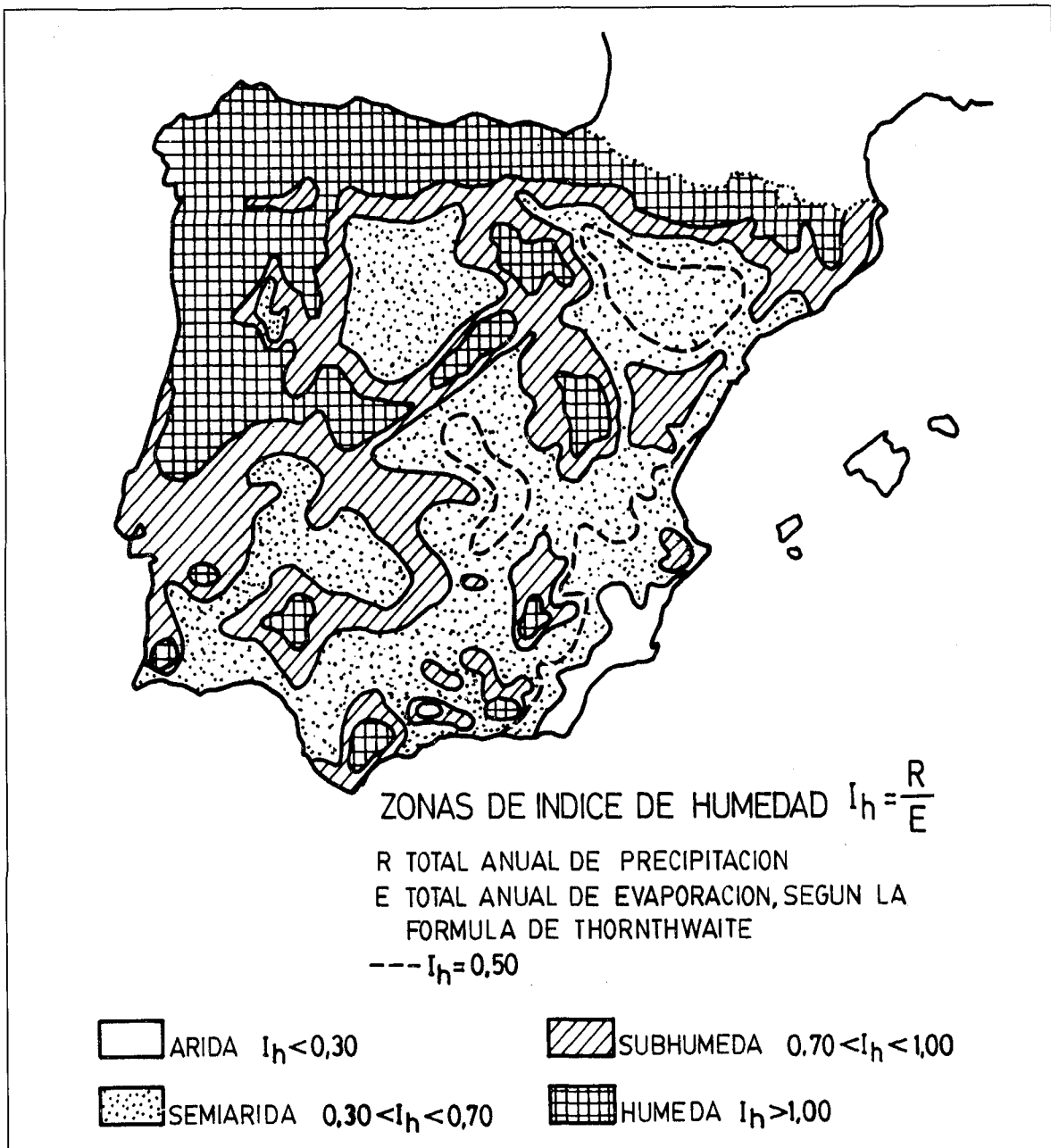


Fig. 2. Distribución de los índices de humedad o aridez en la península Ibérica (FONT TULLOT, 1983)

De todos los países europeos, la península Ibérica es el territorio en donde las zonas áridas y semiáridas ocupan mayor extensión (Figura 2). Estos estados ambientales, conjuntamente a las características de una pluviometría en la que cortos periodos de lluvias torrenciales se intercalan o siguen a otros de

prolongada y acusada sequía, origina unas condiciones muy favorables a la *erosión por agua*. La considerable extensión del conjunto de tierras mediterráneas españolas que registran un grado de aridez más o menos fuerte y ecosistemas asociados, alrededor de 190.000 Km², el 38% del país, constituye una característica trascendente y permanente al riesgo de erosión. Esta contingencia es grande en las tierras surorientales de la Península.

La *sequía endémica* que sufre la mayor parte de las regiones mediterráneas españolas, acentuada en el Sureste, es debida a la conjunción de una serie de factores entre los que destacan:

- a) El hallarse lejos y a resguardo, por el efecto de pantalla orográfica de importantes arcos montañosos, de la gran fuente de humedad que es el océano Atlántico. Es decir, por su situación a sotavento de las masas húmedas atlánticas;
- b) La función de bloqueo, a las borrascas atlánticas, que ejerce, con mucha frecuencia, el anticiclón de Azores, auténtico "guardia de la circulación atmosférica peninsular";
- c) Situación meridional y marginal respecto al paso del frente polar;
- d) Proximidad al norte de Africa.

El resultado de esta combinación de factores mayores, complementados por otras influencias, es el *déficit hídrico* del territorio y el carácter irregular del *ciclo hidrológico*. Las lluvias mediterráneas tienen un marcado carácter aleatorio y con frecuencia violento. La reiteración de dilatadas sequías estivales y aguaceros de alta energía crea condiciones muy favorables para los procesos de erosión hídrica, en ocasiones agravados por el defectuoso manejo de los recursos por el hombre, que puebla estas tierras desde milenios.

3. El origen de las lluvias extraordinarias mediterráneas

Puede resultar paradójico que en unas tierras con marcado déficit hídrico, sea precisamente el *agua* la protagonista destacada de la erosión de los suelos. Sin embargo, la observación revela, por todas partes, las huellas múltiples y diversas de la actividad del agua, ya que se trata de laderas abarrancadas o jalonadas por numerosos regueros, por la transferencia de suelo de las partes altas de las vertientes a las bajas, o por la presencia de cauces secos, gran parte del año, o ramblas de todo tipo y amplitud. Las tierras abarrancadas o "badlands", tan ampliamente extendidas por todo el ámbito mediterráneo, constituyen un paradigma de los espacios fuertemente erosionados. Ramblas y barrancos pueden constituir un modelo de erosión mediterránea (ROSELLO VERGER, 1986).

El rasgo mediterráneo de irregularidad del régimen pluviométrico, se manifiesta de modo muy acentuado en el Sureste de la Península Ibérica (Figura 3). Los largos periodos de sequía son interrumpidos por lluvias diluvianas que originan grandes avenidas y catastróficas inundaciones, además de producir pérdidas de suelo muy elevadas y abarrancamientos en los materiales poco resistentes y áreas escasamente protegidas por la vegetación

(LOPEZ BERMUDEZ et al. 1979, 1991; LOPEZ BERMUDEZ & ROMERO DIAZ, 1989; ROMERO DIAZ et al. 1987, 1992). Las lluvias extraordinarias están en la base de la incuestionable eficacia de las acciones geomórficas mecánicas (COQUE, 1977).

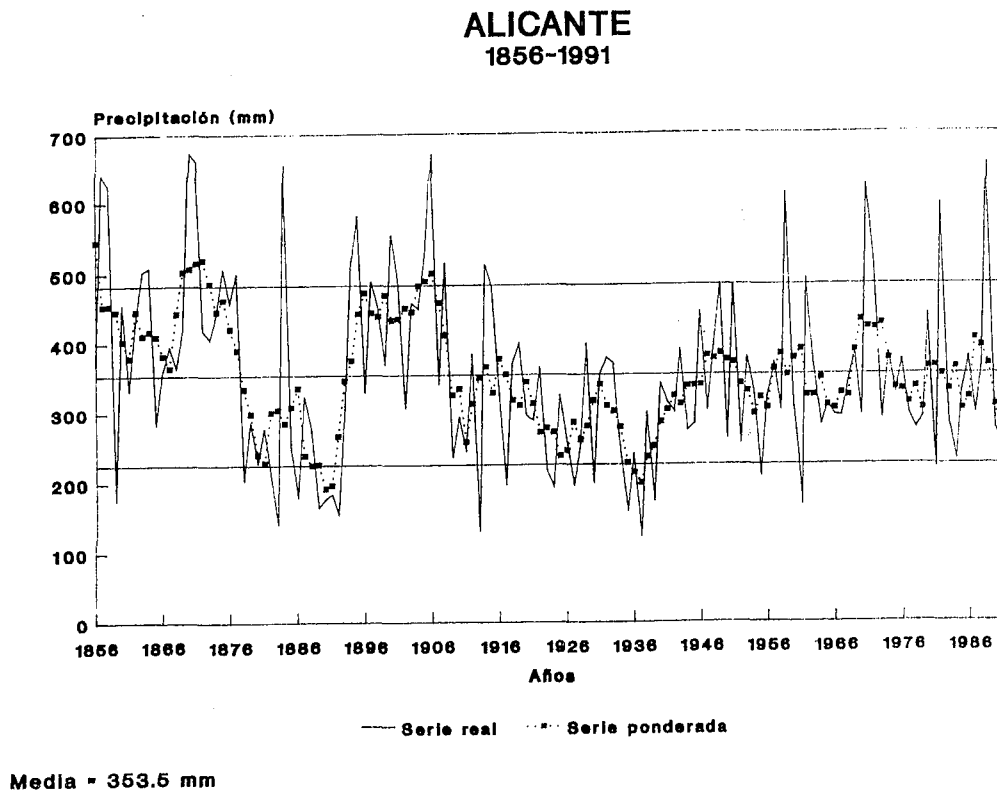


Fig. 3. Serie de precipitaciones en Alicante (1856-1991)

Los vientos mediterráneos de componente Este son los que suelen originar los aguaceros, particularmente en otoño y, sobre todo, los embolsamientos de aire frío en altura, sobre o próximos al espacio mediterráneo. El funcionamiento climático peculiar y semiautárquico que muestra la cuenca del Mediterráneo occidental, gigantesco reservorio de agua y energía, rodeado por importantes relieves montañosos, van a propiciar procesos de condensación forzada a partir de unas aguas cálidas e intensa evaporación, alrededor de 1.500 mm. anuales, que son capaces de suministrar copiosos aguaceros de gran intensidad horaria (Figura 4). En el intervalo de pocas horas, puede excederse, duplicarse, la precipitación media anual.

Entre los factores de fuerte inestabilidad atmosférica ocupa un lugar preferente la presencia de aire anormalmente frío, entre -25° y -30° , en los niveles altos de la troposfera, alrededor de los 5.000 m. de altura. Estas irrupciones, puestas de manifiesto, de modo particular, en las topografías de los 500 y 300 mb, se traduce en la aparición de una vaguada y formalización

GENESIS Y CONSECUENCIAS EROSIVAS DE LAS LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD

de un embolsamiento de aire frío, depresión fría en altitud o *gota fría*, como popularmente se la conoce, capaz de suministrar colosales trombas de agua en cortos periodos de tiempo (LAZO DE ALCALA, 1955; TOMAS QUEVEDO, 1963; MIRO GRANADA, 1976, 1983; CASTILLO REQUENA, 1978; ALBENTOSA, 1983; FONT TULLOT, 1983; GARCIA DE PEDRAZA, 1983; GIL OLCINA, 1983a, 1983b, 1988; LOPEZ GOMEZ, 1983; QUEREDA, 1985; CAPEL MOLINA, 1986); estos aguaceros determinan una intensa erosión por impacto contra el suelo, *splash*, y unas violentas escorrentías que provocan la desagregación de las partículas del suelo y su arrastre, además de graves inundaciones.

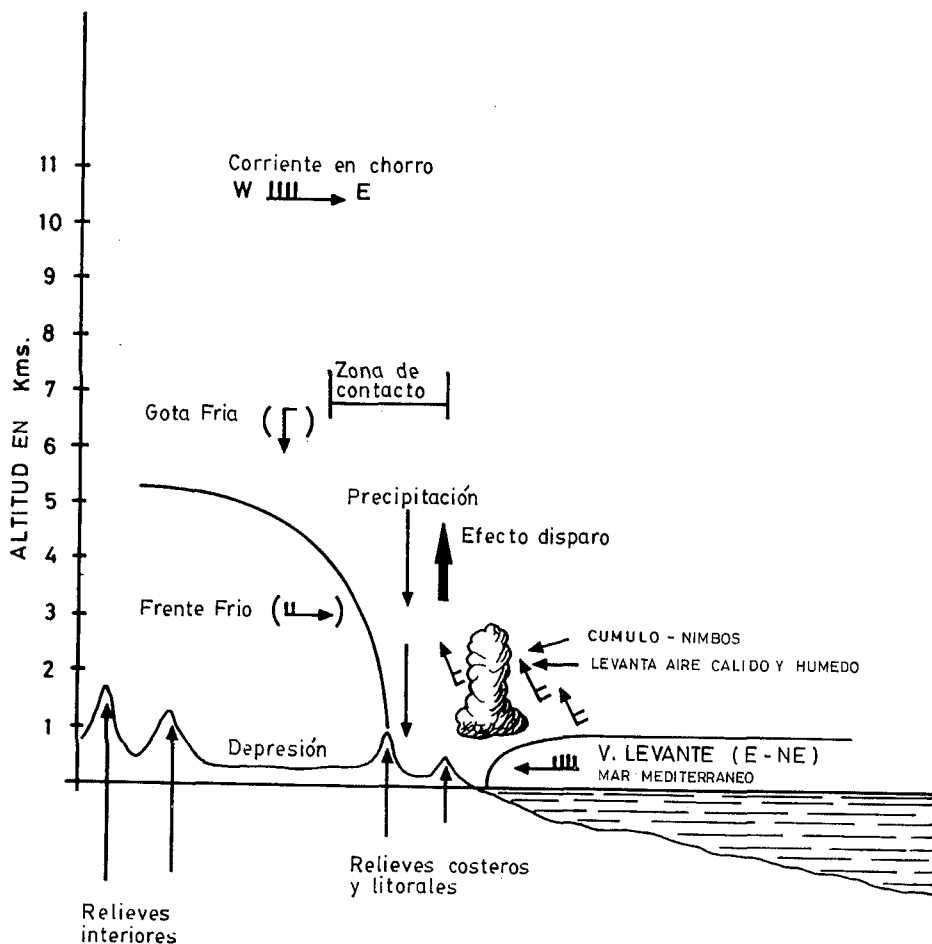


Fig. 4. La función del relieve en los mecanismos desencadenantes de lluvias torrenciales. Situación de "temporal de Levante", afectando a las tierras costeras mediterráneas.

4. Calendario de las lluvias extraordinarias mediterráneas y valores absolutos

Los anales hidrológicos de la vertiente mediterránea atestiguan la fuerte concentración de los aguaceros de elevada intensidad en los meses otoñales, como ocurre con el porcentaje total anual de lluvias según las estaciones del

año: la primavera concentra el 25%, el verano el 10%, el otoño el 45% y el invierno el 20% (GARCIA DE PEDRAZA, 1989). El fenómeno no es casual, sino consecuencia de una combinación favorable de riesgo potencial y mecanismos desencadenantes. La advención de masas de aire mediterráneas con alta humedad, fruto de la transferencia a la atmósfera de enormes cantidades de vapor de agua, y las irrupciones de aire muy frío en las capas altas como detonante, son los responsables destacados de los diluvios que, con frecuencia se precipitan sobre los secos suelos mediterráneos, desde la primera quincena de septiembre hasta mediados de noviembre, primordialmente. Estas trombas de agua, también se registran, si bien a distancia del máximo principal de otoño, en primavera. Incluso en el verano mediterráneo por esporádicos fenómenos de termoconvectividad (Figura 5), aunque las condiciones generales no son propicias. Estos fenómenos generan también lluvias torrenciales de corta duración, pero de alta incidencia en unos suelos que sufren una fuerte tensión hídrica.

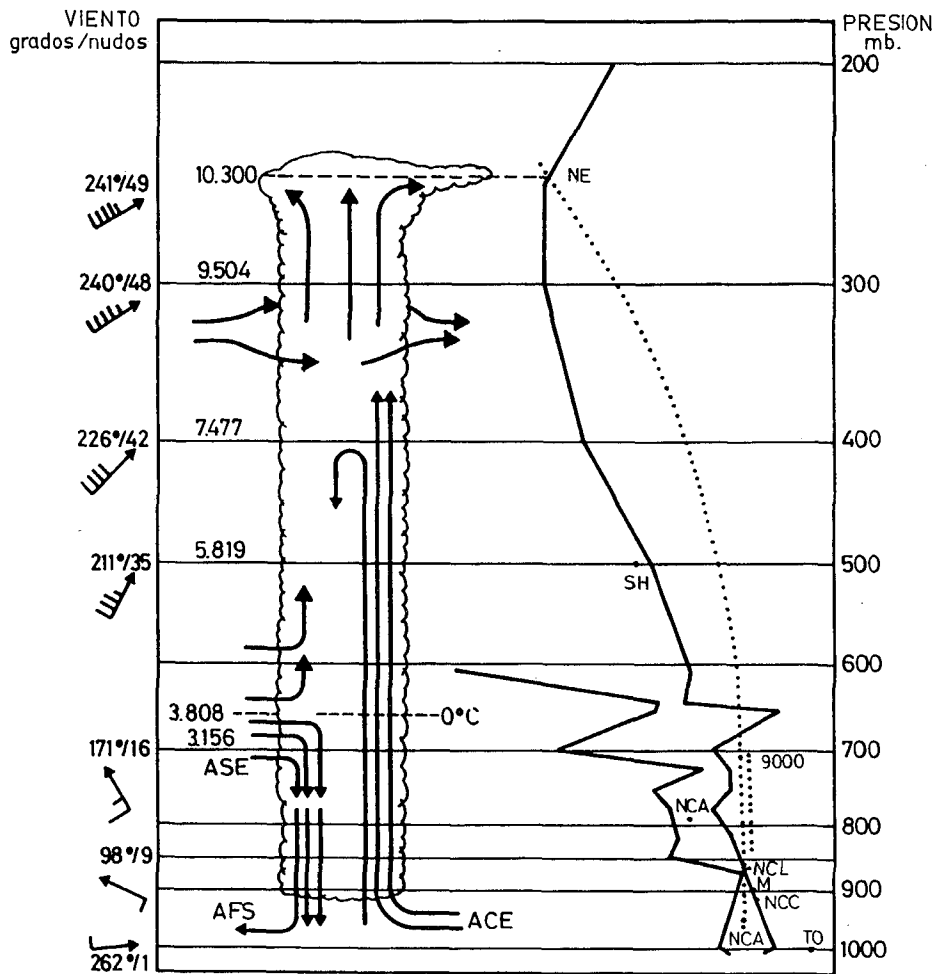


Fig. 5. Termoconvectividad mediterránea estival. Sondeo del 26 de julio de 1986 a las 00 horas. Observatorio de Murcia "Guadalupe", I.N.M.

GENESIS Y CONSECUENCIAS EROSIVAS DE LAS LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD

El comportamiento térmico del mar mediterráneo con sus efectos higrométricos, conjugados con otros factores dinámicos y estáticos, establece el *calendario de lluvias diluvianas* y confiere destacada primacía al otoño en estos acontecimientos hidrológicos. Las estadísticas, para la fachada oriental de la península Ibérica son harto elocuentes. La información documental sobre episodios pluviométricos excepcionales e inundaciones, unas constantes a lo largo de la historia mediterránea española, es larga, se remonta al siglo XII. Ahora bien, hasta principios del siglo XIX en que se realizaron evaluaciones de los daños, la continuidad documental de las lluvias extraordinarias y las avenidas generadas, es un hecho puramente fortuito, tan sólo anotado circunstancialmente en función de otras efemérides importantes. El interés científico por estos acontecimientos naturales, y más aún, su incidencia en la degradación de los suelos por la fuerte erosión que ocasionan, es muy reciente. La Tabla 1 ilustra la magnitud de estas lluvias mediterráneas.

TABLA 1: EJEMPLOS DE LLUVIAS COPIOSAS EN LA VERTIENTE MEDITERRANEA ESPAÑOLA.

Estación, lugar o área	Total (mm)	Tiempo (horas)	Mes y año
CATALUÑA			
BADALONA	220	24	nov. 1988
BARCELONA	250	24	nov. 1962
CABDELLA	252	24	nov. 1982
CAMPRODON	352	24	oct. 1977
CERES	217	24	nov. 1982
ESPARRAGUERA	308	24	nov. 1971
FIGUERAS	440	24	nov. 1971
GISTAIN	215	24	nov. 1982
L'ESPUNYOLA	201	24	nov. 1982
L'HOSPITALET	240	24	nov. 1982
LA MOLINA	341	24	nov. 1982
LA POBLA DE LILLET	266	24	nov. 1982
PRAT DE LLOBREGAT	397	72	oct. 1987
RIBES DE FRESE	201	24	nov. 1982
SAN JUAN DE PLAN	248	24	nov. 1982
SAN FELIU DE LLOBREGAT	262	24	nov. 1982
TARRAGONA	280	24	oct. 1930
VALCEBOLLERA	408	24	oct. 1982
ISLAS BALEARES (MALLORCA)			
BALITX D'AVALL	211	24	nov. 1967
BALITX D'AVALL	280	24	dic. 1979
ESTELLENCS	275	24	nov. 1971
ESTELLENCS	361	24	sep. 1971
LLUC	350	24	mar. 1984

Estación, lugar o área	Total (mm)	Tiempo (horas)	Mes y año
LLUC	467	40	oct. 1978
MORTITX	281	24	oct. 1973
SES PASTORES	220	1,5	oct. 1975
SOLLER	329	24	oct. 1959
SANT LLORENC DES C.	154	2	nov. 1989
SON TORRELLA	504	40	oct. 1978
SON TORRELLA	222	24	dic. 1972
SON TORRELLA	275	24	mar. 1974
POTOPOTRE	112	1	ago. 1990
PAIS VALENCIANO			
ALZIRA	200	24	oct. 1977
ALCALALI	175	12	may. 1977
ALICANTE "AEROPUERTO"	200	12	oct. 1982
ALICANTE "C. JARDIN"	217	12	oct. 1982
CAP DE SAN ANTONI	410	24	oct. 1957
CASA DEL BARON	Más de 1.000	36	oct. 1986
DENIA	377	24	nov. 1977
DENIA	380	30	nov. 1987
GANDIA	720	24	nov. 1977
JAVEA	878	24	oct. 1957
JALANCE	Más de 600	36	oct. 1982
LA POBLA DEL DUC	Más de 1.000	72	nov. 1977
OLIVA	817	24	nov. 1987
ORIHUELA	316	30	nov. 1987
PEDREGUER	373	24	nov. 1985
PUEBLA DEL DUC	790	24	nov. 1987
SUMACARCEL	520	24	nov. 1987
TORMOS	259	24	nov. 1985
TORMOS	258	24	sep. 1988
VALENCIA (varios lugares)	350	24	oct. 1957
VERGUER	305	24	sep. 1957
VERGER	242	24	sep. 1989
MURCIA			
ABARAN	230	5	sep. 1989
BULLAS	152	2,5	nov. 1988
CALASPARRA	160	20	oct. 1982
CAMARILLAS	128	6	jul. 1986
CIEZA	185	4	sep. 1989
EL BERRO	150	2,5	nov. 1988
EL ARDAL (MULA)	134	2,5	nov. 1988
JUMILLA	143	5	jul. 1986
LIBRILLA	120	2,5	nov. 1988
LORCA	191	48	oct. 1973
MORATALLA	126	3,5	sep. 1989
MULA	194	10	oct. 1986

GENESIS Y CONSECUENCIAS EROSIVAS DE LAS LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD

Estación, lugar o área	Total (mm)	Tiempo (horas)	Mes y año
MURCIA	165	18	oct. 1986
RICOTE	212	5	sep. 1989
SAN JAVIER	270	21	oct. 1986
SAN JAVIER	304	22	nov. 1987
ANDALUCIA ORIENTAL			
BAYARQUE	184	24	oct. 1977
BENITAGLA	238	24	feb. 1949
CARBONERAS	202	24	oct. 1989
CUECAS	209	24	oct. 1969
GARRUCHA	170	24	nov. 1919
LOS GALLARDOS	173	24	nov. 1933
LOS GALLARDOS	195	24	oct. 1973
LUBRIN	160	24	oct. 1988
MARIA	260	24	ene. 1914
MARIA	173	24	oct. 1973
NIJAR	173	24	oct. 1966
PURCHENA	233	24	oct. 1973
MESA DE ROLDAN	180	24	oct. 1977
SERON	180	24	oct. 1977
SORBAS	168	24	nov. 1980
VELEZ BLANCO	181	24	oct. 1973
ZURGENA	600	3	oct. 1973

Fuente: CAPEL MOLINA, 1977; CASTILLO REQUENA, 1978, 1981, 1989; ELIAS CASTILLO *et al.*, 1979; GARCIA DE PEDRAZA, 1971; GARCIA MIRALLES *et al.* 1958; GIL OLCINA y MORALES GIL, 1986; GRIMALT, 1989; INST. NAC. MET.; LINES ESCARDO, 1973; LOPEZ BERMUDEZ, 1989; MARTIN VIDE, 1987; PEREZ CUEVA, 1983; PUIGDEFABREGAS, 1984; SEGURA, 1987.

5. Intensidad máxima y erosividad de las lluvias extraordinarias

El impacto erosivo de los aguaceros torrenciales, considerando como tales aquellos que registran un máximo diario superior a 75 mm., radica en la elevada intensidad horaria de las lluvias. Como ejemplo mediterráneo se ofrecen, las intensidades determinadas sobre las bandas del pluviógrafo Lambrecht instalado en el observatorio de "Ciudad Jardín" en Alicante (GIL OLCINA y MORALES GIL, 1986), (Tabla 2).

Para el periodo analizado, 1940-1982 (PUJANTE BELVIS, 1983; GIL OLCINA y MORALES GIL, 1986), las intensidades máximas más frecuentes de esta clase de precipitaciones, se sitúan entre 51 y 100 mm./hora, con máximos que rebasan el umbral de los 300 mm./hora, en dos ocasiones. Estos datos de referencia ilustran las elevadas intensidades que pueden adquirir las lluvias mediterráneas, capaces de desmantelar decenas de toneladas de suelo en pocas horas. El agua es la protagonista destacada en la erosión de los suelos en las regiones mediterráneas.

**TABLA 2: INTENSIDADES MAXIMAS REGISTRADAS
EN EL OBSERVATORIO "CIUDAD JARDIN" (ALICANTE)**

Fecha	Intensidad máxima mm.hora-1
2-11-49	120
20-09-52	120
20-10-52	108
20-09-57	120
29-09-59	91
14-10-62	189
15-10-62	305
17-09-63	90
4-10-69	150
24-09-71	132
5-10-71	138
6-10-71	102
4-11-72	330
4-06-73	126
20-10-82	180

La capacidad de estas lluvias de erosionar (*erosividad*) es muy alta. La erosión por impacto o golpeteo constituye uno de los más importantes subsistemas del proceso de desmantelamiento de los suelos por el agua en las tierras mediterráneas (ASCH, 1980). Mientras que la erosión por arroyamiento superficial depende de la generación de escorrentías por el ciclo hidrológico, el impacto (*rainsplash*) solamente depende del input directo de la lluvia.

La energía cinética total del aguacero (E, en julios) o erosividad de la lluvia, puede ser calculada por la suma de las energías de todas las gotas (e) del siguiente modo:

$$E = n e$$

donde n es el diámetro de la gota y e puede ser calculada como:

$$e = 1/2 m v^2$$

siendo $m(g)$ la masa del aguacero y v (m.s-1) su velocidad.

Para usar esta ecuación hay que asumir algunas simplificaciones tales como la forma y velocidad de caída de las gotas; es necesario aceptar que las gotas mantienen constante su forma y masa durante la caída (BRANDT y THORNES, 1987).

La medición de la distribución del tamaño de las gotas es bastante laboriosa y presenta dificultades. A partir de la observación de lluvias de tormen-

ta y simuladas, se deduce que la lluvia de escasa intensidad, que puede durar varios días, está formada principalmente por gotas pequeñas, mientras que la lluvia intensa de las grandes tormentas, tiene una alta proporción de gotas gruesas. LAW y PARSONS (1943) realizaron estudios en este campo que ya son clásicos. A partir del tamaño de las gotas, velocidad e intensidad, se ha medido la energía cinética capaz de liberarse en diversas partes del mundo (HUDSON, 1982; JANSSON, 1982). Con los datos disponibles, al esquema se ha incorporado las lluvias mediterráneas (Figura 6). Recientemente ICONA (1988) ha elaborado dos mapas de la *agresividad de la lluvia en España*, uno con isolíneas del factor R en la U.S.L.E., otro con el factor de Fournier. Ambos índices expresan, si bien con insoslayables deficiencias, por ahora, la erosividad de las lluvias, es decir, la energía disponible para erosionar.

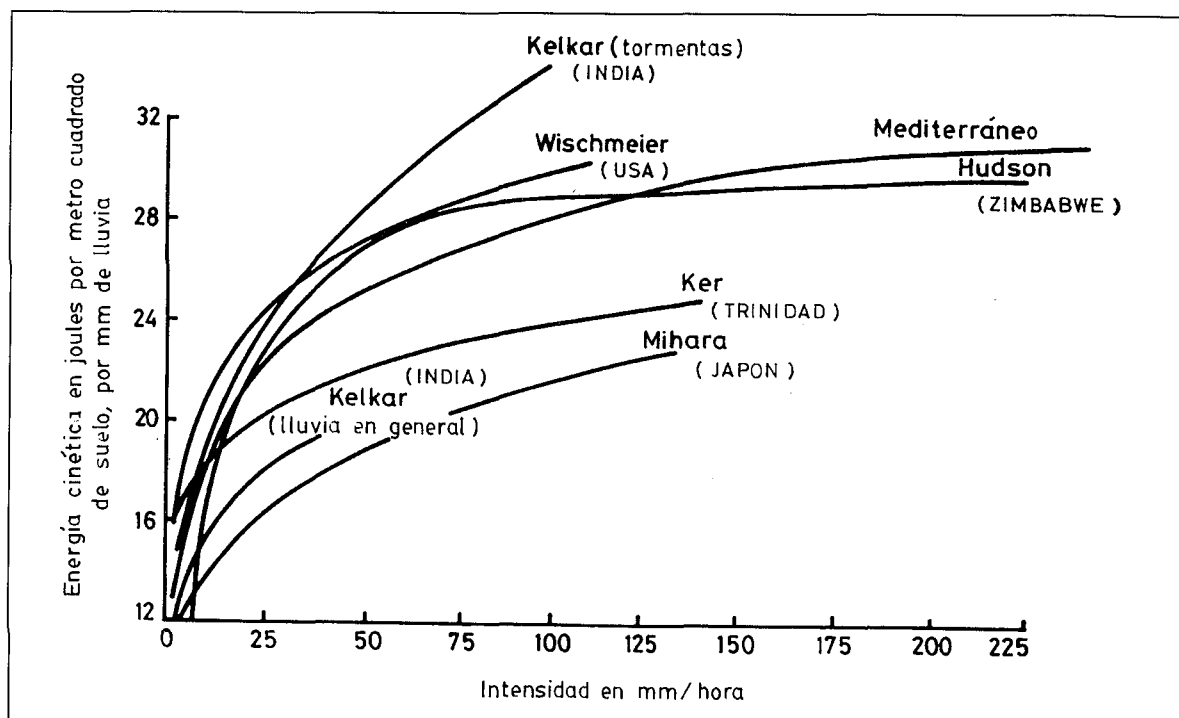


Fig. 6. Relación entre la energía cinética de las lluvias en diferentes lugares del mundo y su intensidad (HUDSON, 1982; JANSSON, 1982 y autor).

6. Efectos erosivos de las lluvias intensas

La energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo es parcialmente disipada a través del arranque y remoción de partículas del suelo y su transporte por salpicadura o golpeteo y el flujo de las escorrentías. Los procesos actúan sobre un substrato que puede ofrecer propiedades de resistencia mecánica muy variadas, desde un afloramiento rocoso consolidado a un suelo frágil y desnudo.

La *erosionabilidad* del suelo se relaciona básicamente con la estabilidad de los agregados y las fuerzas de cohesión que los mantienen unidos, con su

composición o textura. Esta vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión, a la vez que es función de las características físicas del suelo, lo es también del tratamiento o manejo que de él se haga. Por ello, la erosionabilidad del suelo es dinámica en el sentido que puede alterarse por un aguacero de lluvias intensas, de una estación del año a otra, por las labores de labranza, por la aplicación de abonos, por los cultivos, etc.

Bajo condiciones ambientales específicas, las pérdidas de suelo por el potencial erosivo de las intensas lluvias mediterráneas pueden ser enormes. Por ejemplo, la brutal erosión de suelo producida por las lluvias torrenciales de los días 18 y 19 de octubre de 1973 en el Sureste de España (RUIZ DE LA TORRE, 1973), (Tabla 3), o las pérdidas potenciales máximas de suelo por erosión hídrica calculadas según la USLE, en las áreas receptoras de los embalses de la cuenca del río Segura (LOPEZ BERMUDEZ, 1986) (Tabla 4). Cálculos posteriores de erosión en las mismas áreas, utilizando un método distinto, la sedimentación retenida en los embalses (Tabla 5), dan valores sensiblemente más bajos, si bien hay que tener en cuenta, que no todo el suelo erosionado queda retenido en el embalse, ya que gran parte se evacúa con el agua tanto en disolución, como en suspensión. (ROMERO DIAZ et. al. 1992)

TABLA 3: PERDIDAS DE SUELO PRODUCIDAS POR LAS LLUVIAS TORRENCIALES DE OCTUBRE DE 1973 EN EL SE DE ESPAÑA (RUIZ DE LA TORRE, 1973)

Cuenca	Cultivo	Pendiente (%)	Media del Total ladera M ³ /Ha.	Espesor suelo Equiv. en ladera Micaesquistos (mm.)
Rbla. Albuñol	viñedo	45	1.650	165
Rbla. Albuñol	viñedo	50	2.750	270
Rbla. Albuñol	almendro	85	1.800	180
Río Guadalfeo	viñedo	70	2.020	202
Rbla. Guarea	viña/higuera	75	2.800	280
Rbla. Guarea	viña/higuera	15	4.200	420
Río Almanzora	almendro	60	2.820	282

En síntesis, los efectos de las lluvias extraordinarias mediterráneas sobre el suelo, son similares a los de lluvias de mediana intensidad sostenidas en el tiempo, si bien las lluvias de alta energía acarrear consecuencias mucho más activas y graves. Los modos de actuar el agua en el suelo y las formas resultantes de la erosión en superficie son:

- a) Erosión por impacto y dispersión de partículas;
- b) Erosión laminar;
- c) Erosión en surcos y regueros;

GENESIS Y CONSECUENCIAS EROSIVAS DE LAS LLUVIAS DE ALTA INTENSIDAD

- d) Erosión en cárcavas;
- e) Erosión en barrancos;
- f) Erosión en ramblas;
- g) Piping.

TABLA 4: PERDIDAS DE SUELO EN LAS AREAS RECEPTORAS DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL RIO SEGURA SEGUN U.S.L.E. (LOPEZ BERMUDEZ, 1986)

Embalse	Curso de agua	Pérdida de suelo Tm. ha-1. año-1	mm. año-1
Novia	Río Zumeta	120	7.2
Anchuricas	Río Segura	301	18.1
Taibilla	Río Taibilla	209	17.4
Fuensanta	Río Segura	302	18.1
Cenajo	Río Segura	274	16.4
Talave	Río Mundo	161	9.7
Alfonso XIII	Río Quipar	302	18.1
Camarillas	Río Mundo	72	4.3
Argos	Río Argos	63	3.8
La Cierva	Río Mula	107	6.4
Valdeinfierno	Río Guadalentín	123	7.4
Puentes	Río Guadalentín	125	7.5
Santomera	Rambla de Santomera	160	9.7

TABLA 5: PERDIDAS DE SUELO EN LAS AREAS RECEPTORAS DE LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL RIO SEGURA SEGUN SEDIMENTOS RETENIDOS EN LOS EMBALSES (ROMERO DIAZ et al., 1992)

Embalse	Capacidad (mm³)		Pérdida de suelo Tm. ha-1. año-1
	Inicial	Final	
Alfonso XIII	42 (1916)	22 (1976)	4.42
Anchuricas	8 (1957)	6 (1979)	4.32
Argos	12 (1970)	11 (1976)	2.11
Camarillas	40 (1960)	36 (1983)	2.61
Cenajo	472 (1960)	439 (1984)	11.00
Fuensanta	235 (1933)	205 (1977)	10.03
La Cierva	7 (1929)	5 (1985)	2.42
Puentes	32 (1884)	14 (1976)	2.65
Taibilla	10 (1973)	9 (1981)	3.72
Talave	55 (1918)	33 (1983)	5.78
Valdeinfierno	25 (1897)	14 (1976)	2.79

La erosión por dispersión, es consecuencia directa del impacto de las gotas de lluvia que provoca el esparcimiento de las partículas superficiales, dejándolas a merced de la escorrentía, dándose a mayor intensidad de precipitación un aumento en la intensidad del impacto, y por tanto, una mayor dispersión.

Medidas de erosión laminar realizadas en el campo experimental de "Rambla de Gracia" (Tabla 6) y en "El Ardal", en la Cuenca de Mula (Murcia) (Tabla 7), ponen de manifiesto la estrecha relación existente entre las precipitaciones de alta energía y la erosión de los suelos (Figura 7). Como ejemplo en "Rambla de Gracia" en 1986, el 60% de la erosión anual se produjo en tan sólo dos tormentas que tuvieron lugar en otoño (ROMERO DIAZ, et. al, 1987). En "El Ardal" en el episodio lluvioso del 11-12 de septiembre de 1990, una tormenta de 38,4 l/m², con intensidad máxima de 13,2 mm. en 10', produjo en todas las parcelas más del 50% de toda la escorrentía de ese año y el 90% de las pérdidas de suelo.

TABLA 6: FRECUENCIA DE TORMENTAS Y SUELO EROSIONADO EN RAMBLA DE GRACIA (CUENCA DE MULA, MURCIA), EN EL PERIODO 1984-1986. (ROMERO DIAZ et al., 1987).

Clase (mm)	Tormentas (%)	Sedimentos (kg)	Sedimentos (kg/m ²)	Kg. Sedimentos/ N° Tormentas
0,0- 4,9	50,7	8,55	0,003	1,43
5,0- 9,9	21,5	55,39	0,018	5,04
10,0- 14,9	3,1	0,10	0,000	0,05
15,0- 19,9	3,1	118,78	0,039	59,39
20,0- 24,9	4,6	191,94	0,064	63,98
25,0- 29,9	4,6	385,61	0,128	128,54
30,0- 34,9	3,1	10,91	0,004	5,46
35,0- 39,9	1,5	9,44	0,003	9,44
40,0- 44,9	0,0	-	-	-
45,0- 49,9	0,0	-	-	-
50,0- 54,9	1,5	60,06	0,020	60,06
55,0- 59,9	1,5	29,91	0,007	21,91
60,0- 64,9	1,5	109,06	0,004	109,06
65,0- 69,9	0,0	-	-	-
70,0- 74,9	0,0	-	-	-
75,0- 79,9	0,0	-	-	-
80,0- 84,9	0,0	-	-	-
85,0- 89,9	0,0	-	-	-
90,0- 94,9	0,0	-	-	-
95,0- 99,9	0,0	-	-	-
100,0-104,9	1,5	228,34	0,076	228,34
105,0-109,9	1,5	291,05	0,097	291,05

TABLA 7: EPISODIOS LLUVIOSOS CON ESCORRENTIA EN "EL ARDAL" (1990)

Fecha	Lluvia (mm)	Intensidad 10' (mm)	Coefficiente Escor. (%)	Pérdida de Suelo (g/m ²)
9-14/I	14.5	?	0.85	0.02
2-4/III	29.0	0.4	0.74	0.11
24-25/III	9.2	0.8	0.83	0.03
30/III a 1/IV	49.6	1.0	1.02	0.12
8-24/IV	15.2	1.2	0.47	0.04
25/IV a 2/V	34.6	2.4	0.83	0.04
9-11/V	15.4	1.0	0.80	0.01
22-28/V	35.0	5.4	0.73	5.90
1-2/IX	37.8	11.6	1.74	0.65
11-12/IX	38.4	13.2	6.86	11.24
8-13/X	18.8	1.6	1.30	0.06
6-9/XI	17.6	2.4	1.16	0.12
16-19/XII	4.9	0.4	0.27	0.01

Lluvia Max.10'- Escorrentía - Erosión
(*El Ardal*, 1990)

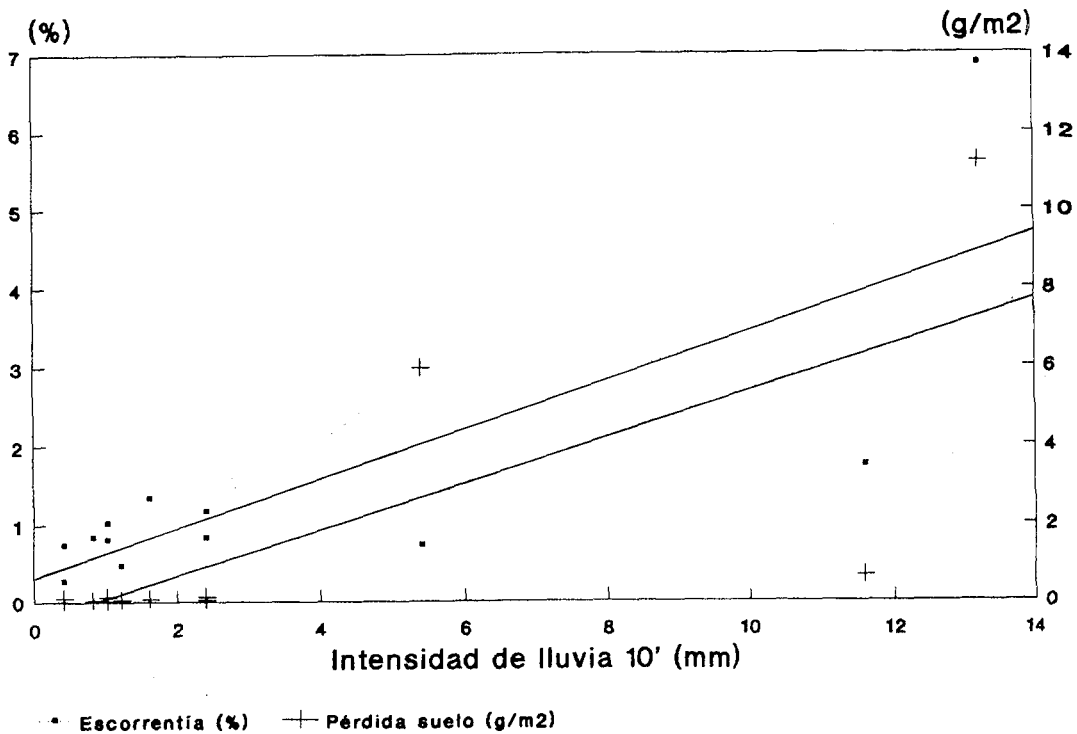


Fig. 7. Relación de la intensidad de lluvia en 10' con la escorrentía y la erosión producida (El Ardal, Mucia, 1990).

La erosión laminar en laderas precede a surcos, regueros, piping, cárcavas, barrancos y ramblas que dominan los piedemontes y llanuras de los paisajes mediterráneos.

La dinámica erosiva de las fuertes lluvias es, por un lado, un indicador del equilibrio geomorfológico y de la evolución paisajística de unos ambientes que registran condiciones climáticas muy agresivas y una insuficiente protección vegetal que atenúe sus efectos. Por otro lado, se expresa en los paisajes mediterráneos en unos procesos predominantemente mecánicos.

7. Conclusiones

El clima mediterráneo de lluvias de alta energía y rápidas escorrentías, desencadena unos procesos pluvio-hidrológicos que perturban la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas. Las causas de tales acontecimientos, obedecen a la conjunción de unas situaciones meteorológicas específicas, con unas condiciones ambientales singulares.

Un aguacero o tormenta mediterránea, puede suministrar hasta el 35% del total anual de las lluvias y, durante el mes de octubre, la precipitación mensual puede representar hasta el 60% del año.

Lluvias torrenciales y activas escorrentías, constituyen una realidad ambiental y un problema de particular importancia para los suelos de las regiones mediterráneas.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los doctores J.M. Castillo Requena, M. Grimalt, J. Martín Vide, A. Pérez Cueva y J.M. Raso, que tan amablemente nos han suministrado los datos de las últimas precipitaciones de carácter intenso en la vertiente mediterránea.

Referencias bibliográficas

- AGUILO, J. (1989): Análisis de los factores que influyen en la erosión hídrica del suelo. En *Zonas Áridas en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid; pp. 107-122.
- ALBENTOSA, L.M. (1983): Precipitaciones excepcionales e inundaciones durante los días 6 al 8 de noviembre de 1982 en Cataluña. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp. 229-273.
- ALIAS, L.J.; LOPEZ BERMUDEZ, F.; MARIN, P.; ROMERO DIAZ, M.A. & MARTINEZ FERNANDEZ, J. (1992): Soil fertility loss on petric calcisol under a semiarid mediterranean environment: preliminary results. *Geodema*.
- ASCH, Th.W.J. van (1980): *Water erosion on slopes and landsliding in a Mediterranean Landscape*. Utrechtse Geografische Studier 20. University of Utrecht. The Netherlands, 238 pp.

- BRANDT, J. & THORNES, J.B. (1987): Erosional Energetics. In *Energetics of Physical Environment*. Edited by K.J. Gregory. John Wiley. Chichester, pp. 51-84.
- CASTILLO REQUENA, J.M. (1978): Estudio sobre el comportamiento de la gota fría y la distribución de sus consecuencias pluviométricas en la España peninsular. *Revista Paralelo* 37, 2. Almería.
- CASTILLO REQUENA, J.M. (1981): Estudio de un fenómeno responsable de intensos y numerosos aguaceros en la España peninsular: la gota fría vía sur. *Revista Paralelo* 37, 5, pp. 43-56. Almería.
- CASTILLO REQUENA, J.M. (1989): *El clima de Andalucía*. Instituto de Estudios Almerienses. Colección investigación nº 11 y 13. Almería.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1977): Los torrenciales aguaceros y crecidas fluviales de los días 25 y 26 de octubre de 1977, en el litoral Levantino y Sur Mediterráneo de la península Ibérica. *Paralelo* 37. Colegio Universitario de Almería, pp. 109-132.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1986): Trayectorias de las gotas frías e incidencias sobre la pluviometría de la Península y archipiélagos ibéricos. *XV Jornadas de meteorología Hispano-Lusa*. Lisboa.
- COQUE, R. (1977): *Géomorphologie*. Armand Colin. París, 430 pp. *Geomorfología*. Alianza Editorial, Madrid, 1984, 475 pp.
- DUNNE, T. (1977): Evaluation of erosion conditions and trends. In *Guidelines for watershed management*. FAO Conservation Guide 1, pp. 53-83.
- ELIAS CASTILLO, F. & RUIZ BELTRAN, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura. Madrid, 545 pp.
- FONT TULLOT, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 194 pp.
- FONT TULLOT, I. (1983): Algunas observaciones sobre las lluvias excepcionales en la vertiente mediterránea española. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp. 55-60.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et erosion*. Ed. Presses Universitaires de France. París, 201 pp.
- GARCIA DE PEDRAZA, L. (1971): Los torrenciales aguaceros en la cuenca mediterránea. *Calendario Meteorológico*. Servicio Meteorológico Nacional Madrid, pp. 160-166.
- GARCIA DE PEDRAZA, L. (1983): Situaciones atmosféricas tipo que provocan aguaceros torrenciales en comarcas del mediterráneo español. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp. 61-73.
- GARCIA DE PEDRAZA, L. (1989): Climas de transición al árido. Climas áridos. Dominios áridos y Semiáridos en España. En *Zonas Aridas en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, pp. 45-63.
- GARCIA MIRALLES, V. & CARRASCO ANDREU, Q. (1958): *Lluvias de intensidad y extensión extraordinarias causantes de las inundaciones de los días 13 y 14 de octubre de 1957, en las provincias de Valencia, Castellón y Alicante*. Servicio Meteorológico Nacional, 67 pp.

- GIL OLCINA, A. (1983a): *Lluvias de excepcional intensidad e inundaciones en el Campo de Alicante*. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp. 121-141.
- GIL OLCINA, A. (1983b): Lluvias excepcionales en la noche del 19 al 20 de octubre de 1982 y riada en el barranco de las Ovejas. En *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, pp. 5-24.
- GIL OLCINA, A. & MORALES GIL, A. (Dirección) (1986): *Inundaciones en la ciudad y Término de Alicante*. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, 179 pp.
- GIL OLCINA, A. (1988): *Precipitaciones y regímenes pluviales en la vertiente mediterránea española*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles*, 7. Madrid, pp. 1-12.
- GRIMALT, M. (1989): *Aproximación a una Geografía del Risc a Mallorca. Les inundacions*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Mallorca (inédita) y comunicación oral.
- HUDSON, N. (1982): *Conservación del suelo*. Editorial Reverté, Barcelona, 335 pp.
- ICONA (1988): *Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo*. MAPA, ICONA, Madrid, 39 pp. y dos mapas fuera de texto.
- JANSSON, M.B. (1982): *Land erosion by water in different climates*. UNGJ Rapport N-57. Department of Physical Geography. Uppsala University, 151 pp.
- LANGBEIN, W.B. & SCHUMM, S.A. (1958): Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Trans. Am. Geophys. Union.*, vol. 39, pp. 1.076-1.084.
- LAWS, J.O. & PARSONS, D.A. (1943): The relation of raindrop size to intensity. *Transactions of the American Geophysical Union*, 22, pp. 709-712.
- LAZO ALCALA, E. (1955): La gota de aire frío. *Revista de Aeronáutica.*, 181, Madrid, pp. 952-960.
- LINES ESCARDO, A. (1973): Situaciones sinópticas típicas en lluvias torrenciales en el Sudeste Español. núm. 277-278, pp. 119-126.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. (1973): *La Vega Alta del río Segura. Clima, Hidrología y Geomorfología*. Universidad de Murcia, 228 pp.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. (1985): La erosión hídrica de los suelos en el dominio mediterráneo español. Percepción y diagnóstico geográfico. *Cuadernos de Geografía*. 4-5. Universidad de Barcelona (Tarragona), pp. 7-26.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. (1986): Evaluación de la erosión hídrica en las áreas receptoras de los embalses de la cuenca del Segura. Aplicación de la U.S.L.E.. En *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España*. (F. López-Bermúdez y J.B. Thornes Editores). Universidad de Murcia. University of Bristol. Murcia, pp. 93-98.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. (1989): El clima mediterráneo extremado como factor de degradación en cuencas fluviales. En *Restauración de Cuencas mediterráneas degradadas*. Curso Superior Internacional. Centro de Investiga-

- ción y Desarrollo Agrario (C.I.D.A.). Junta de Andalucía. Granada (en prensa).
- LOPEZ BERMUDEZ, F. & NAVARRO HERVAS, F.; (1979): Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia. *Papeles de Geografía*, 8. Universidad de Murcia, pp. 49-91.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. & ROMERO DIAZ, M.A. (1989): Piping Erosion and badland development in South-East Spain. *Catena Supplement*. 14. *Arid & Semi-Arid Environment. Geomorphological & Pedological Aspects*, pp. 59-73.
- LOPEZ BERMUDEZ, F.; ROMERO DIAZ, M.A. & MARTINEZ FERNANDEZ, J. (1991): Soil erosion in a Semi-Arid Mediterranean environment. El Ardal Experimental field (Murcia, Spain). In *Soil Erosion Studies in Spain*. (M. Sala, J.L. Rubio, J.M. García Ruiz, Eds.). Geoderma Ediciones. Logroño, pp. 137-152.
- LOPEZ GOMEZ, A. (1983): Las lluvias catastróficas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp 11-29.
- MARTIN VIDE, J. (1987): *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona, 245 pp.
- MIRO-GRANADA, J. (1976): Avenidas catastróficas en el Mediterráneo occidental. *Revista de Hidrología*, abril-julio. Madrid, pp. 117-133.
- MIRO-GRANADA, J. (1983): Consideraciones generales sobre la meteorología de las riadas en el Levante español. *Estudios Geográficos*, 170-171, C.S.I.C., Madrid, pp. 31-53.
- PEREZ CUEVA, A.J. (1983): Precipitaciones extraordinarias en la España Peninsular. *Agricultura y Sociedad*, 28, Madrid, pp. 189-203.
- PUIGDEFABREGAS, C. (1984): *Effectes Geomorfològics dels aiguats del Novembre de 1982*. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Informes 1. Barcelona, 236 pp.
- PUJANTE BELVIS, R. (1983): Aguaceros en la ciudad de Alicante (1940-1979). En *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*. Instituto Universitario de Geografía. Alicante, pp. 99-120.
- QUEREDA, J. (1985): Ciclogénèse et convection dans le Levant Espagnol. *La Météorologie*, VII, 6, pp. 6-10.
- ROMERO DIAZ, M.A.; MARTINEZ FERNANDEZ, J.; FRANCIS, C.; LOPEZ BERMUDEZ, F. & THORNES, J. (1987): Erosividad de lluvias intensas: Estudio de campo en Murcia. En *Erosión y dinámica de sedimentos*. Estación de Zonas Aridas de Almería. C.S.I.C., Almería. Instituto Mediterráneo de Geología. Universidad de Granada.
- ROMERO DIAZ, M.A.; CABEZAS, F. & LOPEZ BERMUDEZ, F. (1992): Erosion and fluvial sedimentation in the River Segura Basin. Spain. In *Mediterranean Erosion*. Frankfurt. *Catena*, vol. 19, pp. 379-392.
- ROSSELLO VERGER, V. (1986): Ramblas y barrancos: Un modelo de erosión mediterránea. *Ponencias IX Coloquio de Geógrafos Españoles*. A.G.E., Murcia, pp. 177-184.
- RUIZ DE LA TORRE, J. (1973): *Informe sobre los efectos de las lluvias de los días 18 y 19 de octubre de 1973 en el Sureste de España, desde el punto*

de vista sedimentológico. Centro de Estudios Hidrográficos. MOPU, Madrid, 25 fl. multicopiados.

SEGURA, F. (1987): Les inundacions de novembre de 1987 al País Valencià. *Cuadernos de Geografía*, 24, Universidad de Valencia, pp. 205-211.

TOMAS QUEVEDO, A. (1963): Causas meteorológicas de las inundaciones de septiembre de 1962 en el Bajo Vallés, Llano de Llobregat y la Maresma. *Estudios Geográficos*, 91, C.S.I.C., Madrid, pp. 137-146.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1959): A rainfall erosion index for a Universal soil-loss equation. *Proc. Soil. Sci. Soc. Am.*, 23, pp. 246-249.