

NEUS LA ROCA CERVIGÓN\*

## PRECIPITACIONES MEDITERRÁNEAS Y MOVIMIENTOS DE MASA EN MARGAS DE LOS VALLES DE ALCOI

### RESUMEN

Se realiza una evaluación espacio-temporal de las precipitaciones (anuales, tandas máximas de varios días de duración y máximas en 24 h) que preceden y acompañan a movimientos de ladera en un ambiente típicamente mediterráneo.

A partir de casos observados (LA ROCA 1991b) se distinguen dos tipos de precipitación (volumen, intensidad, duración), que, a grandes rasgos, van asociados a diferentes morfogénesis por movimientos de ladera:

a) tandas de lluvias muy intensas (> 200 mm), tras una prolongada y/o intensa sequía, responsable de la apertura de profundas grietas de retracción, asociadas a movimientos superficiales localizados.

b) tandas menos intensas (< 200 mm), tras años excepcionalmente húmedos (> 1000 mm), acompañadas de movimientos superficiales generalizados y movimientos profundos.

Se cartografía la distribución regional de tales lluvias para diferentes periodos de recurrencia (método *Gumbel*) y se estudia su frecuencia teórica y su distribución anual.

Los mapas de lluvias muestran diferencias según el tipo de precipitaciones considerado. Las máximas en 24 h crean núcleos máximos junto al litoral, tanto más pegados a la costa cuánto mayor es el periodo de recurrencia contemplado; los núcleos máximos de las tandas se trasladan al interior de los conjuntos montañosos para todos los periodos de recurrencia y los picos máximos de los totales anuales presentan una posición intermedia.

La disposición del relieve con respecto al '*temporal de Llevant*', principal desencadenante de lluvias seguidas de movimientos de ladera, individualizan en los valles de Alcoi, un sector septentrional más húmedo y con tandas más intensas. Los valles abiertos al W, protegidos de los '*Llevants*' deben la mayor parte de sus tandas importantes a la circulación atlántica.

---

\* Departament de Geografia. Universitat de València.

## ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine räumliche und zeitliche Auswertung der Niederschläge durchgeführt, die in der typisch mediterranen Umwelt der Täler von Alcoi (E-Spanien) Hangbewegungen vorhergehen bzw. begleiten.

Auf der Basis von Feldbeobachtungen (LA ROCA, 1991b) werden zwei Arten des Niederschlags (Höhe, Intensität, und Zeitdauer), die generell mit zwei verschiedenen Arten der Hangmorphogenese durch Massenbewegungen verbunden sind, unterschieden:

a) sehr starke (> 200 mm) kontinuierliche Regenperiode von einigen Tagen (*tandas de lluvia*), die nach einer langen bzw. intensiven, für die Öffnung tieferer Bodenklüfte verantwortliche Dürre, vortreten. Sie werden von lokalen oberflächlichen Hangbewegungen begleitet.

b) weniger starke (< 200 mm) Regenperiode, die ausserordentlich feuchte Jahre (> 1000 mm) folgen und mit verbreiteten oberflächliche bzw. lokalen tiefe Massenbewegungen verbunden sind.

Karten der regionalen Verbreitung dieser mit Massenbewegungen verbundenen Niederschläge werden für verschiedene Rekurrenzperioden (*Gumbel-Methode*) erstellt und die theoretische Frequenz dieser Niederschläge sowie ihre jährliche Verteilung analysiert.

Die maximalen Niederschläge in 24h besitzen ihr häufigstes Auftreten in Küstennähe, wobei je grösser die betrachtene Rekurrenzperiode ist, d.h. je stärker der Niederschlag ist, desto näher das Niederschlagszentrum an der Küste liegt. Das maximale Auftreten von Niederschlägen in kontinuierlichen Regenperioden von einigen Tagen liegt für alle betrachteten Rekurrenzperioden im Innern der Gebirge des Küstenvorlands. Die Zonen maximalen Jahresniederschlags verteilen sich räumlich zwischen Küste und Gebirge.

Die Anordnung des Reliefs gegenüber den Regenbringenden Ostwetterlagen (*temporal de Llevant*) gliedert in den Tälern von Alcoi einen feuchteren nördlichen Bereich mit intensiven Regenperioden aus. Die zum Westen hin geöffneten und von den Ostwinden beschützten Nebentäler verdanken der atlantischen Luftströmung ihre maximale Niederschläge.

## 1. INTRODUCCIÓN

El vincular movimientos de masa con precipitaciones extraordinarias es una inferencia empírica muy antigua. Por ejemplo, no lejos del área objeto de este estudio, a unos 40 km al N, en la noche del 24 al 25 de noviembre de 1783 se desencadenó el derrocamiento de la Muntanya de la Font del Baladre -desde entonces Muntanya Assolada- (LA ROCA, 1991a). El escolapio Benito de San Pedro dictaminó en su informe de 1784, como causa fundamental, las lluvias que "avian precedido ... mui copiosas, i frecuentes casi por dos meses i medio, i grandes avenidas e inundaciones del Xucar por todas las esplanadas, que circuyen a los expresados Montes" (SAN PEDRO, 1784, p.5).

Sin embargo, pasaría tiempo antes de que el mecanismo por el cual las lluvias se relacionan con la rotura y movimiento del terreno, fuera objeto de un estudio sistemático. El desarrollo de tales investigaciones se consolidó en una nueva disciplina, la Mecánica de Suelos, desgajada de la Geología Ingenieril de la mano de Karl Terzaghi, a principios de los años 20 del presente siglo. En 1950 Terzaghi (TERZAGHI, 1950) hace hincapié en el papel del clima (lluvias intensas, fusión rápida de la nieve) en la rotura de taludes que plasma en la ecuación

$$s=c+(p-hw)\tan\theta$$

s=resistencia a la cizalla

c=cohesión,

p=presión por unidad de superficie en un punto P dado, de una superficie de deslizamiento potencial, debido al peso de los sólidos y el agua localizada por encima de la superficie,

h=el nivel piezométrico en ese punto,

w=peso específico del agua, y

$\theta$ =ángulo de fricción de deslizamiento para la superficie de deslizamiento.

Posteriormente (1957) adquiriría la forma

$$\tau=c'+(\sigma-u)\tan\theta$$

u=presión de agua en los poros,

que recibió el nombre de ecuación de Coulomb-Terzaghi, pues modificaba la antigua ecuación de Coulomb (1776):  $\tau=c + \tan\theta$ , surgida como solución a un problema teórico matemático y que era empleada para resolver problemas ingenieriles de resistencia de muros.

Terzaghi (1950) se interesó asimismo por la periodicidad de los movimientos de masa en relación con la precipitación media, las lluvias intensas o la fusión rápida de las nieves. En 1964, tras analizar la distribución temporal de desprendimientos de rocas y deslizamientos sobre laderas en fiordos noruegos en un ejemplo tomado de BJERRUM y JØRSTAD (1957), concluía que existía una variación estacional de tales fenómenos.

A lo largo de los años 60 numerosos autores recalcaron el papel morfogenético de las precipitaciones extremas como desencadenantes de movimientos de masa. Entre ellos cabe citar a STARKEL (1960 y 1963) y GERLACH (1966) que trabajaron en los Cárpatos, a MARX (1969) que estudió los Apeninos o a PELLEGRINI (1969) que investigó en los Dolomitas. En estos trabajos no era frecuente entrar en consideraciones de Mecánica de Suelos; Starkel, por ejemplo, alude brevemente a la presión de agua en los poros y erróneamente a la licuefacción del terreno. Este error, muy extendido entre geólogos y geógrafos físicos sólo será superado, al

menos en España, a lo largo de la década de los 80, cuando comiencen a estrecharse los lazos entre las citadas disciplinas y los técnicos en Mecánica del Terreno.

Crozier en 1986 dedica todo un capítulo de su libro *Landslides: causes, consequences & environment* al régimen de las lluvias impulsoras de movimientos de masa, que analiza a partir de ejemplos de climas templados oceánicos australianos, con objeto de encontrar umbrales de precipitación desencadenantes de movimientos de masa. Establece la diferencia entre a) umbral de lluvia a partir del cual se pueden registrar movimientos de masa y b) umbral de lluvia a partir del cual *siempre* se registran movimientos de masa. Es una distinción que lleva implícito el conocimiento, por parte de Crozier, del estado del arte de la Mecánica de Suelos en ese momento. Los umbrales están muy ligados a) a la humedad previa del suelo y b) a lo que Crozier denomina la resistencia frente a los sucesos gravitacionales (*event-resistance*), que las laderas adquieren por la sucesiva evacuación del material inestable a través de movimientos de masa.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos de la presente investigación se refieren a un territorio típicamente mediterráneo, con sequía estival y lluvias torrenciales preferentemente de otoño. En ella:

1) se constata la relación espacio-temporal, aunque no correlación matemática, entre movimientos de masa y lluvias (en el periodo 1956-1991) (LA ROCA, 1991b),

2) de esa relación se extraen las características de las precipitaciones que acompañan directamente a los movimientos y de las precipitaciones precedentes preparadoras del terreno, a la vez que se señala el tipo de movimientos que a ellas se asocian,

3) finalmente se realiza una proyección espacial y temporal de dichas lluvias que persigue una valoración global del problema de los movimientos de masa en la región estudiada

Los registros pluviométricos de la región no son todavía adecuados para establecer umbrales en la línea de CROZIER (1986). Precisamente la importancia de la humedad previa del suelo en el desencadenamiento de los movimientos, exige registros pluviométricos más finos y densos (el pluviómetro más cercano al área de observación está a unos 5 km). Faltan, por otra parte, datos y estudios básicos sobre evapotranspiración.

Este trabajo pretende establecer *grosso modo* la relación entre los movimientos de masa y las lluvias bajo un régimen de precipitaciones de tipo mediterráneo occidental de montaña, con el fin de evaluar globalmente el problema. Es obvio, que no se puede avanzar una predicción razonablemente fiable de las fases de génesis de movimientos de masa.

### 3. CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS MEDIAS

Recibe el nombre de Valles de Alcoi un conjunto cuencas intramontanas situadas en las zonas externas del Prebético valenciano y enmarcadas por una serie de relieves calizos de dirección principalmente bética (sierras del Benicadell, Mariola, Almudaina, Alfaro, del Menechaor) y excepcionalmente diversa (Serrella, Ull del Moro). Tanto el valle central, una fosa tectónica de disposición N-S, como los valles laterales, sinclinales de dirección bética evolucionados a fosas por posterior fracturación longitudinal al eje del sinclinal, (RODRÍGUEZ ESTRELLA, 1977) incluyen en su interior un conjunto de bloques levantados y hundidos (BERNABÉ, 1975, LA ROCA, 1991b). Los valles laterales se abren al central y uno y otros presentan distinta exposición respecto a los vientos portadores de lluvias, que se traduce en diferentes condiciones de humedad. Potentes series (más de 1000 m, IGME, (1975)) de margas *tap* marinas miocenas rellenan dichas cuencas, que los barrancos tallan en abruptas laderas inestables.

La región montañosa del prebético externo en la que se insertan los Valles de Alcoi, constituye una isla de humedad en el ámbito semiárido prelitoral valenciano, condicionada por la orografía. LAUTENSACH (1964, p. 629) destacó la especificidad de esta "isla" subhúmeda o semihúmeda con 3 a 4 meses totalmente áridos, frente a los 5 e incluso 6 de la costa.

El diagrama de Thornthwaite elaborado con datos de KUNOW (1943), (1908-27), en parte reducidos con los de otras estaciones, muestra, por comparación con el de Alicante, "la mayor precipitación y menor evaporación en los valles serranos": (ROSSELLÓ, 1965, p.135); el déficit hídrico se prolonga entre junio y octubre, siendo máximo en agosto y septiembre (en julio todavía queda en gran parte reserva de agua por consumir). La reserva de agua "llega a cerca de 200 mm en abril; a partir de entonces ya no bastan las lluvias y tiene que ser utilizada la [...] del suelo. Desde mediados de junio hay déficit y en agosto está agotada la reserva", (LÓPEZ GÓMEZ, 1978, p. 114).

Las precipitaciones medias anuales son superiores a 500 mm y en las estaciones más elevadas se alcanzan los 800 mm (gradiente de unos 60 mm/100 m, KUNOW, 1947); en la Mariola (1390 m) y en el Carrascal d' Alcoi (1352 m) son con toda probabilidad mayores. Las laderas orientadas al N reciben más lluvias; la precipitación disminuye hacia el W. La barrera Carrascal-Aitana crea una zona de sombra pluviométrica al S, a sotavento, donde las precipitaciones disminuyen por debajo de los 400 m, umbral que utiliza VILÀ VALENTÍ (1961) como límite de la región denominada "sudeste peninsular". El centro del valle de Alcoi es más seco, aunque siempre con más de 500 mm anuales debido, al parecer, a su orientación N-S. Se registra un mínimo de precipitación en los meses julio y agosto, un máximo absoluto en octubre, y uno secundario de diciembre a abril.

CLAVERO (1979, p. 22) explica la influencia de los mares peninsulares en las precipitaciones del País Valenciano: durante los meses de noviembre a mayo la fuente de humedad es el Atlántico y la humedad relativa disminuye desde el

interior hacia la costa. Al contrario ocurre durante el periodo más cálido del año, en el que la circulación subtropical, que facilita la penetración de la humedad mediterránea en las tierras del levante español, cobra importancia frente a los vientos de componente W. "La humedad del Mediterráneo sólo se manifiesta de forma notoria y sistemática de junio a octubre".

#### 4. METODOLOGÍA

El método empleado consiste en establecer:

- a) una tipificación de las precipitaciones impulsoras de movimientos de ladera, a partir de eventos conocidos,
- b) una cartografía regional de los periodos de recurrencia de tales precipitaciones (extremas diarias, tandas máximas y totales anuales), herramienta para la evaluación de su importancia espacio-temporal.

Se ha operado con las series de precipitación procedentes de un total de 81 observatorios de primer, segundo y tercer orden, situados en los valles de Alcoi o cerca de ellos, en un cuadrilátero definido más o menos por los vértices Elx - Cofrentes - València - Cap de la Nau, (Fig. 1).

Tras la obtención, para cada uno de los observatorios, de la precipitación máxima anual en 24 h, la tanda de precipitación máxima anual (máxima registrada en un periodo lluvioso ininterrumpido de varios días, normalmente de 2 a 6 días) y los totales anuales, se procedió al cálculo de periodos de recurrencia de las mencionadas variables mediante el método de GUMBEL (1954,1958) con ayuda de un programa en Basic. Este programa ofrece también automáticamente las precipitaciones para periodos de recurrencia de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años (Fig. 2).

Con estos datos se ha confeccionado la cartografía correspondiente a cada periodo de recurrencia y variable. Todos los mapas han sido elaborados según el método de interpolación KRIGING que ofrece el programa SURFER. Dicha cartografía automática tiene la ventaja de tomar más valores en consideración en el trazado de las isolinéas. Es, por tanto, un método más exacto, más rápido y menos laborioso que el convencional (Fig. 3a, 3b y 3c).

En todo el proceso de cálculo el mayor problema lo planteó la selección de los datos. Las series pluviométricas de los observatorios de segundo y tercer orden son muy fragmentarias y con baja coincidencia temporal entre sí (Fig. 4). Con todo, al tratarse de un estudio de máximas, no se creyó conveniente realizar una reducción de los datos con los de una estación cercana. Creemos que el posible inconveniente queda paliado en gran parte, por el método estadístico utilizado y el ajuste con la curva de Gumbel, sobre todo en el caso de los periodos de recurrencia menores. Para los periodos de recurrencia de 50 y 100 años, los menos fiables, se han utilizado sólo las estaciones con series más largas, un total de 43 (de las 81); la mayor parte de ellas, 33, con series de 25 años o más y un coeficiente de correlación con la curva teórica del 98% o mejor, y sólo 5, con un coeficiente de 95-98%. El resto, con series de 19 a 25 y una correlación mejor del 98%, se encuentra situado en las zonas de mayor densidad de información.

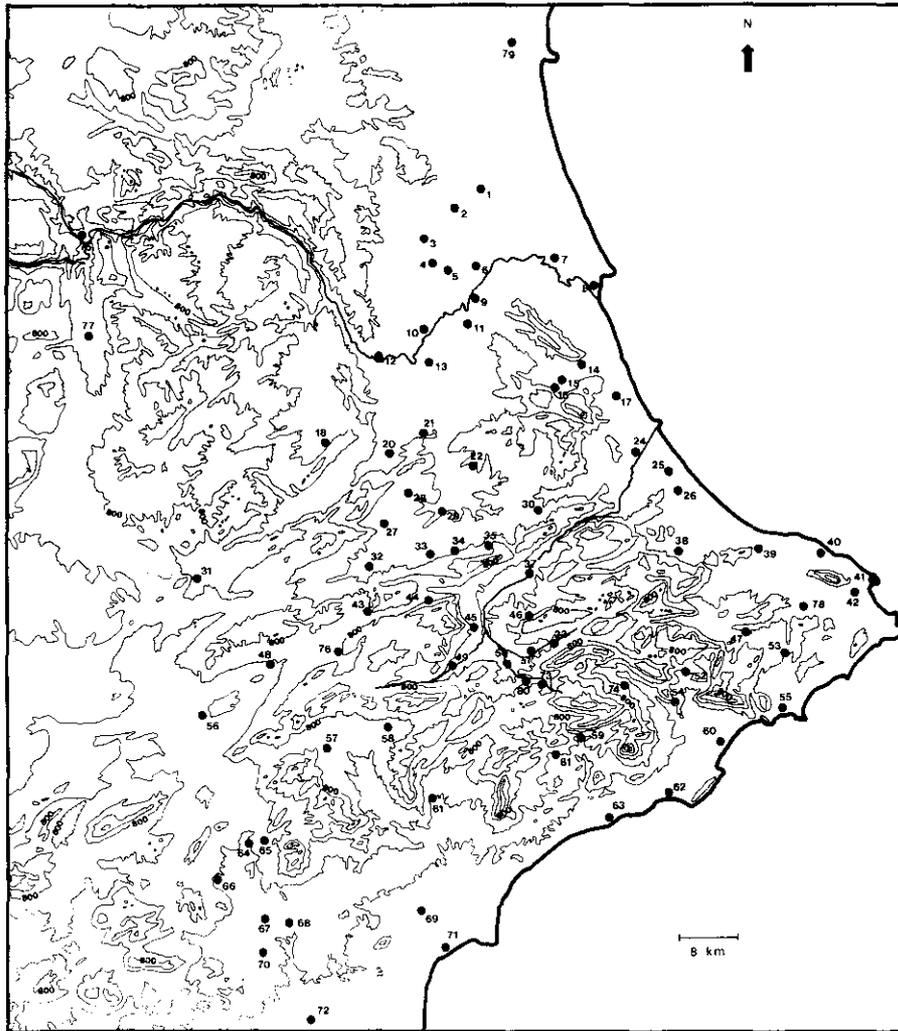


Fig. 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas. Leyenda en la fig. 4.

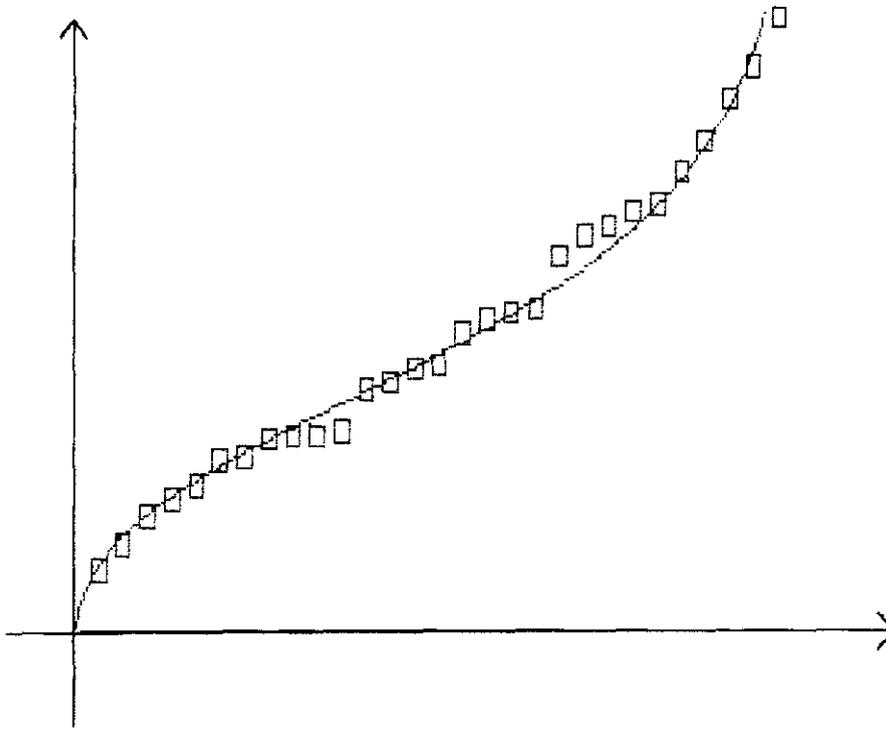


Fig. 2. Ejemplo de distribución de los datos pluviométricos y ajuste a la curva de Gumbel. Elaborado con los datos de los períodos de precipitación de 2 a 6 días, máximos anuales, de la estación de Alcoi. N° de datos = 29;  $R = .993284$ ;  $A = -1.99949E-02$ .

Estimación:  $x = 104.685$   $y = .5$ ;  $x = 161.371$   $y = .8$ ;  $x = 198.902$   $y = .9$ ;  $x = 234.903$   $y = .95$ ;  $x = 281.502$   $y = .98$ ;  $x = 316.421$   $y = .99$ .

Estimación:  $x = 80$   $y = .321267$ ;  $x = 100$   $y = .467099$ ;  $x = 150$   $y = .755703$ ;  $x = 200$   $y = .902062$ ;  $x = 250$   $y = .962782$ ;  $x = 500$   $y = .999744$ .

Para la cartografía del período de recurrencia de 20 años se han utilizado todas las estaciones con series de más de 15 años, lo que añade 12 estaciones más a las 43 anteriores, es decir, se trabaja en este caso con un total de 65 estaciones, y todas las series presentan un grado de correlación con la curva de Gumbel mejor del 90%, cuando el coeficiente es inferior a 95% se toma sólo series de 20 años o más.

Por último para la cartografía de los períodos de recurrencia de 2, 5 y 10 años se han añadido 5 estaciones más. El resto se desechó. Aquí se han incluido series de 14 años o más y con una correlación del 90% o mejor, y dos estaciones, Penàguila y Gata, con series muy cortas, de 9 años, pero situadas en zonas con más información.

Por tanto y resumiendo: para reducir el error en lo posible, se han conjugado varios criterios:

- longitud de la serie,
- coeficiente de correlación entre la distribución de los datos y la curva teórica de Gumbel
- densidad de información alrededor de la variable a cartografiar
- el que la serie recogiera tanto algún año húmedo como alguno seco, lo que se conoce por equiparación a otras estaciones. Con este fin se elaboraron unos grandes cuadros en los que se representa gráficamente el recorrido temporal de cada una de las series, permitiendo una fácil comparación entre estaciones (Fig.4).

Las series pluviométricas no son necesariamente de idéntica longitud para las tres variables de cada estación. Muchas veces la serie de los totales anuales es más corta, pues se requiere obviamente que el año esté completo, mientras que en los dos otros casos la falta de alguno o algunos meses no implica obligatoriamente que no hayan quedado registradas la tanda máxima o la máxima en 24 h de ese año. Dependiendo de cuáles fueran los meses incompletos y por comparación con otras estaciones cercanas y otros años de la misma estación se han tomado o no esas máximas como válidas.

## 5. MOVIMIENTOS DE MASA Y LAS LLUVIAS ANUALES, TANDAS Y MÁXIMAS EN 24 HORAS

A estas lluvias típicas del clima mediterráneo va asociada la ocurrencia de los movimientos de masa.

### 5.1 *Lluvias y movimientos de masa en 1973, 1982, 1986, 1987, 1989 y 1990*

En 1973, 1982, 1986, 1987, 1989 y 1990 se produjeron movimientos de ladera, bien a barlovento de la Serra d' Almudaina, entre la Serra y el Riu d' Alcoi, bien en el extremo occidental de la Vall de Ceta y a barlovento de la Serra d' Aitana.

En 1973, al igual que en 1990, las lluvias que desencadenaron los movimientos de masa sobrevinieron tras un largo periodo de humedad. Los años 1971 y 1972, el 1973 hasta diciembre, así como 1989, fueron excepcionalmente húmedos, (Tablas 1 y 2). En tales años se registraron movimientos profundos y movimientos superficiales generalizados.

La tanda de invierno, impulsora de los movimientos de masa, incluyó uno o más días de precipitaciones importantes en 24 h en los observatorios de Beniarrés Pno., Almudaina y Agres (situados a barlovento de las sierras d' Almudaina y de Mariola).

En 1982, 1986 y 1987 las precipitaciones intensas de otoño coincidieron con movimientos superficiales. No se puede establecer una relación entre la magnitud de la lluvia y el número de movimientos habidos.

En 1982 (Tabla 3), las precipitaciones extremas sucedieron a un largo periodo de sequía (dic. 1977 - dic. 1981). RASO NADAL *et al.* (1981) y BOIX *et al.* (1982)

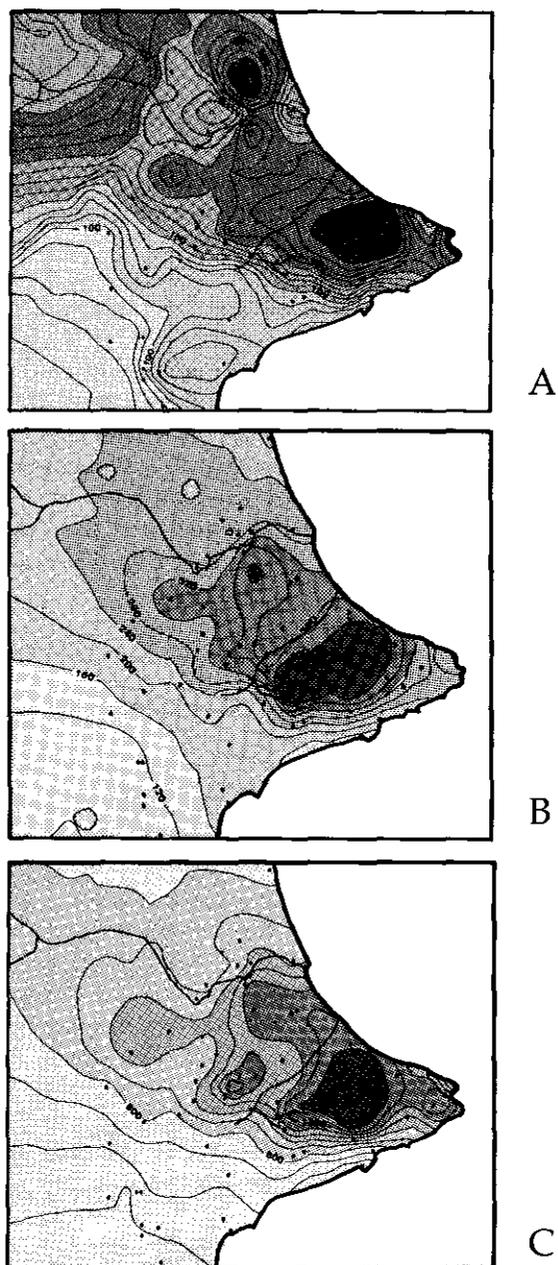


Fig. 3. Mapa de isoyetas para un período de recurrencia de diez años. A, Máximas en 24 h; B, Tandas máximas de varios días de duración; C, totales anuales.

destacan como muy seco el tiempo comprendido entre agosto de 1980 y diciembre de 1981. A los primeros meses del 82, especialmente marzo, algo más húmedos, siguió de nuevo la sequía desde principios de junio hasta mediados de octubre. Sólo se registraron precipitaciones en agosto y en septiembre, y en ambos casos se trató de un sólo día de tormenta estival, que no superó los 36 mm en los lugares de mayor precipitación.

El periodo de máximas precipitaciones - 30 de octubre a 1 de noviembre -, sucede a otro de menor importancia aquí, - el del 18 al 22 de octubre -, pero que provocó graves inundaciones en las Riberas Alta y Baja del Xúquer y en el Campo de Alicante. Existen numerosos estudios que analizan bajo la óptica de la dinámica atmosférica la génesis y evolución de las circunstancias meteorológicas que dan lugar a tales aguaceros: ver *Estudios Geográficos* n<sup>os</sup> 170-171, de 1983, *Cuadernos de Geografía* n<sup>os</sup> 32-33 de 1983 y el estudio realizado por el Instituto Universitario de Geografía de Alicante, *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*.

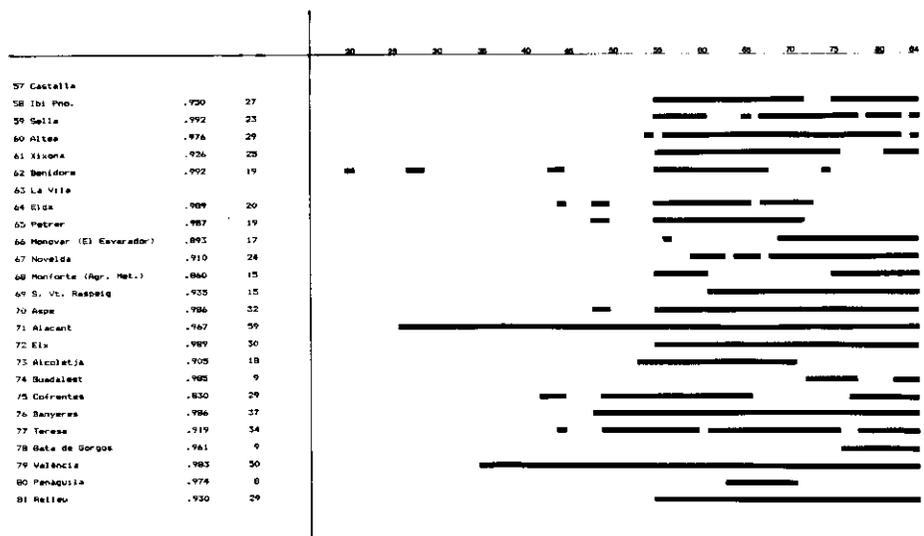
La primera tanda, 18-22 oct., registró lluvias diarias abundantes (Tabla 3), pero de intensidad menor a las de la segunda, durante la cual en Almudaina, Beniatjar y Carrícola, es decir, en la vertiente N de las Serras d'Almudaina y del Benicadell, las intensidades entre 90 mm y 140 mm se repitieron 2 y hasta 3 días consecutivos (Almudaina).

Las precipitaciones de 1986 destacan por su volumen e intensidad (más de 500 mm en 2 días, el 29 y 30 de septiembre, en Alcoi y Agres, más de 300 en Beniarrés, de 350 en Almudaina, de 400 en Quatretondeta). Siguieron a un verano no totalmente seco, puesto que en todos los meses estivales se registró alguna precipitación, pero sin que se pueda hablar en este caso, de un período húmedo previo, de preparación del suelo por lenta saturación. Las masas de tierra superficiales fluídas, todavía en estado líquido el día 9 de octubre, fueron consecuencia de un sólo período de lluvias de ocho días de duración (28 sep. - 5 oct.) (Tabla 4), dividido realmente en dos, pues el día 2 no llovió, y de los que el primero es el más importante. En todos los observatorios se superaron los 200 mm/24 h, y en Alcoi incluso los 300 mm/24 h. El Riu d'Alcoi desbordó inundando las terrazas bajas.

La tanda máxima de 1987 precipitó en noviembre, tras un verano muy seco que se prolongó hasta finales de septiembre. Entre la sequía estival y la tanda excepcional sólo hubo (al igual que en 1982) una precipitación digna de mención (Tabla 5), que duró 6-7 días a finales de septiembre/principios de octubre, pero que no llegó a sumar en ninguna estación 120 mm. Por fin entre el 3 y el 8 de noviembre sobrevino la tanda importante, con intensidades/24 h mayores de 100 mm; pero la distribución espacial de volúmenes e intensidades fué muy irregular. En los valles de Alcoi destacaron Cocentaina, Alcoi y Gorga, aunque las lluvias realmente excepcionales fueron las de la costa: Gandia y también Dénia, el Verger, Pego, etc.

Normalmente estas tandas suponen una proporción muy importante de los totales anuales (Tabla 6).





En un intento de tipificar las precipitaciones coincidentes con movimientos de ladera en este área, se resaltan las siguientes características:

Los eventos lluviosos que acompañan a movimientos son básicamente de dos tipos y a cada uno van asociadas unas consecuencias morfogenéticas de carácter gravitacional distintas.

El primer tipo se produce tras un prolongado período de sequía o tras una intensa sequía estival. Lluvias intensas en 2 a 6 días ( $\geq 300$  mm), precedidas de otra tanda de precipitación menor, o lluvias excepcionalmente intensas ( $\geq 500$  mm y  $\geq 200$  mm/24 h) sin previa fase húmeda, impulsan movimientos superficiales, por lo general, muy localizados espacialmente, en función de la extensión de la tromba de agua. El disparo es esencialmente activado por la presión del agua ejercida en el interior de las grietas (LA ROCA, 1991b); el movimiento se produce entonces en condiciones de drenaje impedido. La sequía prolongada desempeña una función muy importante al reseca el suelo margoso y provocar mediante su retracción y resquebrajamiento la apertura de esas comparativamente rápidas vías de penetración del agua.

El total de precipitación que se asocia en este caso a los movimientos supone algo más del 50% del total anual.

Del segundo tipo, tanto las tandas de lluvia desencadenantes de movimientos como las máximas en 24 h que incluyen, son menos intensas (ej. 1990 tanda < 235 mm y máxima 75 mm). No las precede una sequía, sino un prolongado período de humedad, años excepcionalmente lluviosos. Este tipo de lluvias impulsa movimientos más profundos y/o movimientos superficiales generalizados en el paisaje. El suelo en el momento del disparo está saturado o próximo a la saturación y se produce el disparo en condiciones de drenaje libre (LA ROCA, 1991b).

TABLA 1

1973	Año Met.	Año Met.	invierno	primav.	verano	otoño	diciembre																		
	1971	1972	D72-F73				2	9	10	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30 (tot)				
Agres																									
Beniarrés P.	930,7	1045,7	252,8	255,5	51,6	72,8	14,5	17,5	0,3	2,2	2,5	0,3	IP	5,0	19,8	61,5	41,5	65,0	89,5	12,6	289,9				
Almudaina	1042,8	1048,0	287,1	240,3	64,1	116,8	15,2	17,5	2,3				IP	10,0	30,6	88,8	39,5	86,6	130,0	7,2	362,7				
Cocentaina																									
Gorga	1019,0	769,0	202,0	160,0	40,0	61,0	19,0	10,0	IP	7,0					2,0	92,0	26,0	70,0	116,0	16,0	322,0				
Quatretondeta																									
Alcoi	761,5	733,0	146,0	145,0	74,5	54,5	5,5	3,0	IP	6,0	0,5			5,0	11,0	55,0	15,0	43,0	66,0		190,0				
Benifallim																									
Penàguila																									
Alcoletje																									

TABLA 2

1989/90	DIR.-JUL. 1989	JL.-AG. 1989	SEPTIEMBRE							PESTO SEP.	OCT.-DIC. 1989	TOTAL 1989	ENERO 1990													(total)	
			3	4	5	6	7	8	9				(total)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13
Agres F. Eva	545,5	0	>200	52,5	25,3	70			(334)	27	216	1134,5	2	35	40	35	23	13	40	80	10	(20)					
Beniarrés Pro.	--	--	--	--	--	--	--	--	--		199,8	--	5,4	16,2	71,1	23,1	42,7	1	10,1	25	103,4	27,2	(232,6)				
Almudaina	568	--	86	45,9	11,2	88,2			(211,3)	10,5	230,2	1090		33,1	38,6	24,8	27,5	21,6	30,4	78,3	17	(175)					
Cocentaina	446,6	--	--	--	--	--	--	--	--		--	--	2	4,8	27,7	18	23,9	1	12,6	10	46,5	20	(132)				
Gorga	305	6	9	60	40	210			(319)	31	246,0	1107		9	37	13	38	3	10	23	62	31	(180)				
Alcoi OJ	446,3	8,2	5	76	29,3	2,5	89,1		(223,3)	28	176,4	882,4			9,8	20,5	18,5	17	2	14	10	37	16,5	(115)			
Tarbes	593	18	256	26,3	15,1	52,4	0,9		(350,3)	38,4	485,1	1494,8		3,4	54	23,4	48,4	13	7,6	46,7	53,1	21	(189,8)				
Gaudelet E.	--	--	--	--	--	--	--	--	--		--	--	2,5	12	32	18	37,5	4	20	10	26	11	(126,5)				
IP'iva	401,2	5,3	29	100	74,5	82	45,7	4	(355,2)	37,5	501,9	1301,1		0,8	16,5	73	33	14	14,5	2,5	52	135	12	(282,5)			
Beniatjar	3325,2	19,5	1	103	78,7	26,3	76,9	25	(376)	46,5	270,4	1042,6		2,6	0,7	5,1	94,6	72	5,5	4	17,3	24,7	89,7	15,7	(228,4)		
Carrícola	507,8	25,5	1	100	74	19	56	0,5	17 (278)	28	266,5	1147,8		2	23	50	44	20	2	14	44	91	10	(225)			

TABLA 3

1982	JUN. JUL. AG. SEP.	OCTUBRE										NOVIEMBRE																										
		17	18	19	20	21	22	(total)	26	27	28	29	30	31	1	2	3	(total)																				
Agres (Alq.)																																						
Beniarrés P.																																						
Almudaina																																						
Cocentaina																																						
Gorga																																						
Quatretondeta																																						
Alcoi J. XXIII																																						
Benifallim																																						
Penàguila																																						
Alcoletje																																						
Alcoi O59																																						
Beniatjar																																						
Carrícola																																						

TABLA 4

1986	JUN. JUL. AG.	SEPTIEMBRE				OCTUBRE					resto oct.	NOVIEMBRE																										
		27	28	29	30	1 (tot)	2	3	4	5 (tot)		Mx. mes r.	13	14	15	16	17	18 (tot)																				
Agres																																						
Beniarrés P.																																						
Almudaina	Mx. 24 mm	57	7	8	13	209	135	36		8 (519)	4	30	6 (559)	12	28	6	73	170																				
Cocentaina		48	18	11		36	204	161		(393)	50	53	4 (500)	12	27	11	91	124																				
Gorga										41 (442)	12	21	3 (478)	11	24		128	166																				
Quatretondeta		68	33	15		10	193	232		34 (469)	3	40	5 (517)	13	26		100	120																				
Alcoi																	130	103																				
Benifallim		85	37	8		12	350	195		11 (568)	12	33	5 (618)	14	31		2	IP																				
Penàguila																																						
Alcoletje																																						

### 5.2 La cartografía pluviométrica del prebético valenciano

La distribución espacial de las precipitaciones, todo y manteniendo algunas coincidencias fundamentales, presenta ciertas especificidades según se consideren las máximas en 24 h, las tandas o los totales anuales (Figs. 3a, 3b y 3c).

En las cartografías de las máximas en 24 h aparecen centros de máxima pluviosidad cerca del litoral Pego-Verger, València, Alginet, Alacant, sin clara explicación orográfica, para todos los periodos de recurrencia. En los mapas de las tandas se aprecia un traslado de los máximos hacia el interior de los conjuntos montañosos - por ej. desde la zona Pego-Verger a los alrededores de Quatretondeta - al tiempo que desaparecen sobre las áreas litorales.

Ello corrobora los resultados obtenidos por PÉREZ CUEVA (1989) sobre la distribución litoral de la torrencialidad, entendida como máximas en 24 h. CAMARASA (1991), en un estudio muy detallado, basado en datos del S.A.I.H., analiza las precipitaciones en intervalos de 5 minutos, que reflejan muy claramente la mayor torrencialidad costera desencadenada por masas de aire intrínsecamente inestables. Probablemente el tránsito mar-tierra, con las diferencias de temperatura y/o rozamiento, actúa de elemento disparador de la ascendencia.

En la determinación de la magnitud de una tanda, sin embargo, lo fundamental es la repetición del fenómeno de precipitación intensa. Es necesario, por tanto, un consecutivo ascenso del aire cargado de humedad, que es suscitado por el desnivel orográfico. En el caso de un relieve inmediato a la costa al efecto de la orografía se sumará el de la propia inestabilidad de ciertas masas de aire, con el consiguiente incremento del volumen de la descarga. Así debe ser, por ej. en Cullera - de hecho Sueca se encuentra en una clara zona de sombra pluviométrica - u ocurrió en Gandía-Beniopa en 1987. De ahí también que en la zona estricta del prebético prelitoral, la diferencia cartográfica entre las máximas en 24 h y las tandas sea de matiz: el ligero traslado del núcleo más lluvioso de la costa hacia el interior.

La cartografía de los totales anuales recoge, en síntesis, los rasgos esenciales de las dos anteriores, ofreciendo una imagen de distribución de la pluviosidad media.

Los mapas de las tandas reflejan claramente, por tanto, junto con los de los totales anuales, y a diferencia de los de las máximas diarias, la "isla" de humedad enclavada en las montañas del S de la provincia de València y N de la de Alicante. En líneas generales, el volumen de las tandas aumentan lentamente por el flanco N y NE y descienden con fuerte gradiente hacia el S y SW marcando con nitidez las caras de barlovento y sotavento respecto de los vientos portadores de aguaceros y tormentas. La diferencia NE-SW es mayor en las lluvias de período de recurrencia más largo, las de 50 y 100 años, que con toda probabilidad son producidas básicamente por inestabilidades provenientes del NE.

En detalle se distinguen, respecto a las tandas, dos subáreas de precipitación:



a) uno en torno al Mondúver (841 m), Serra de les Agulles (625 m)-Serra Vernissa (455 m) y Serra Grossa a la altura de Xàtiva (462 m, 520 m).

b) otro, más importante, asociado al relieve de la Serra de la Safor/Serra del Mirant, Serra d'Almudaina (1013 m), Serra de la Foradada (862 m), Serra d'Alfaro (1097 m), la Serrella (1361 m) y Serra Aixortà (1218 m).

La disposición del relieve, más o menos paralela a la línea de costa y, sobre todo en el segundo caso, perpendicular a los vientos dominantes mediterráneos del NE, ejerce un papel decisivo (CLAVERO, 1979).

Entre ambas subáreas queda un pasillo o una vía de penetración hacia el interior de los temporales de origen mediterráneo, (fuente principal de las tandas extraordinarias): las masas húmedas marítimas, arrastradas por vientos de componente NE, penetran en los valles de Alcoi a lo largo del valle del Serpis, a través de l'Estret de l'Infern y al final del pasillo chocan en primer lugar con la alineación Mariola-Almudaina y la parte occidental de la Serrella, produciéndose el efecto de embudo (CAPEL, 1977, p. 123), que crea un barlovento y un sotavento.

En consecuencia, en lo que son estrictamente Valles de Alcoi -área de este estudio- se aprecia una diferencia entre los sectores N y S; a partir de Cocentaina hacia el S las precipitaciones comienzan a descender con ritmo rápido. La Vall de Ceta, abierta al SE, es más húmeda cuanto más hacia el E.

El área afectada por tandas de  $\geq 300$  mm se agranda al aumentar el período de recurrencia, de manera que abarca todos los valles de Alcoi para un período de recurrencia de 10 años. Para esa misma recurrencia la totalidad de la región se ve afectada por lluvias en 24 h  $\geq 150$  mm con intensidades que aumentan rápidamente hacia el NE de los valles. Los totales anuales para ese intervalo son en la región  $\geq 1000$  mm, aumentando también hacia el E y hacia el N.

### 5.3 *Distribución temporal de los sucesos pluviométricos y movimientos de masa*

La precipitación mediterránea muestra un carácter altamente intermitente. Las observaciones sobre el terreno y en foto aérea revelaron una coincidencia temporal de las lluvias extremas con la ocurrencia de movimientos de masa sobre margas, un proceso geomórfico también intermitente.

5.3.1 *Evaluación de las tandas registradas.* Tras la sequía estival mediterránea, octubre es, por excelencia, el mes de los aguaceros más intensos (Tabla 7). También pueden registrarse temporales en diciembre. Para los Valles de Alcoi se ha elaborado un cuadro con las fechas (mes y año) en las que, a lo largo de las series disponibles, se registraron tandas superiores a 200 mm y 300 mm. Las más voluminosas cayeron esencialmente en los meses de octubre, diciembre y también en febrero; a veces, en noviembre, pero con un reparto espacial más restringido. Las tandas de febrero, y en general de invierno, pueden durar más de 6 días.

TABLA 8

1973	P	MX	T
BENIARRES (mm) Per. Rec. (años)	289,9 10	89,5 2,1-5	814 3,7-5
GORGA (mm) Per. Rec. (años)	322 10	116 2,5-5	758 3,2
ALCOI (mm) Per. Rec. (años)	190 5-10	66 2-3	569 2-3
ALMUDAINA (mm) Per. Rec. (años)	382,7 10-20	130 2-5	991,4 3,7-5

TABLA 9

1982	P	MX	T
ALMUDAINA (mm) Per. Rec. (años)	346,6 10	130/125 2-5	931,7 3,7-5
GORGA (mm) Per. Rec. (años)	153 1,8	83 1,7	668 2-3
ALCOI (mm) Per. Rec. (años)	123 2-4	76,5 3,1	583 2-3

TABLA 10

Periodos de recurrencia (años) de las tandas (2-6 días) máximas						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
CARRICOLA (mm) Per. rec.	-	387 7,4	388 7,5	-	278 5	241 3,9
BENIATJAR (mm) Per. rec.	-	351 6,4	633,6 65,8	-	351 6,4	228,4 2,5
AGRES F.EVA (mm) Per. rec.	-	519,4 -50	239,1 -3	-	346 18,8	-
BENIARRES E. (mm) Per. rec.	-	500 114,8	-	-	-	232,6 5,6
ALMUDAINA (mm) Per. rec.	-	441 20	242,8 3,5	-	231,3 3,2	273,5
COCENTAINA (mm) Per. rec.	-	-	439 43,3	-	-	-
GORGA (mm) Per. rec.	-	469 35,3	246 4,1	-	319 7,9	-
ALCOI CHJ (mm) Per. rec.	-	-	212	-	223,5	-
ALCOI (mm) Per. rec.	-	432	193	-	-	-
TARBENA (mm) Per. rec.	358,5 5,3	532 20,8	-	-	350,3 4,9	-
GUADALEST (mm) Per. rec.	312 4,7	555,5 31,7	-	-	-	-
XATIVA (mm) Per. rec.	-	439 12	444 12,5	-	351,2 6,2	282,5 3,7

Las tandas mayores de 200 mm se han registrado en ocasiones, también en enero y en abril, pero no de manera generalizada en todo el valle. Las de invierno y primavera destacan especialmente, por ejemplo, en Quatretondeta, llegándose a medir incluso algunas mayores a 300 mm, mientras en otros observatorios de la zona se registraban lluvias apenas o nada destacables. Parece que en esta parte alta de la Vall de Ceta, son provocadas en gran parte, por la circulación atlántica, que domina en esta época del año (CLAVERO, 1979), y a la que se abre el valle. También se registran tandas de invierno/primavera importantes, en Agres (Convento), situada al final del Valle de Beneixama-Bocairent, en Gorga, a la entrada de la Vall de Ceta, donde las precipitaciones son menos intensas que en Quatretondeta, y en Beniatjar - todos ellos observatorios emplazados en zonas abiertas, en mayor o menor medida, al W.

Ahora bien, como mínimo la mitad de las tandas mayores de 200 mm y que incluyen al menos una máxima en 24 h mayor de 100 mm, y, en la mayor parte de los observatorios, los dos tercios de las mismas, precipitan durante el último trimestre del año: octubre, noviembre, diciembre. El tercio o mitad restante se reparte entre los seis meses de enero a junio.

5.3.2 *Periodos de recurrencia de las precipitaciones causantes de los movimientos de masa en 1973, 1982, 1986, 1987, 1989 y 1990.* Se han seleccionado los observatorios meteorológicos más cercanos a puntos de los que se sabe con seguridad que, en esas fechas, sufrieron movimientos de ladera superficiales tipo *mudslide/flow* o *deep seated slides*, y se ha buscado, en cada uno de ellos, los periodos de recurrencia de:

- a) una tanda de precipitación (2 a 6 días) de esa magnitud
- b) una máxima en 24 h, equivalente a la máxima que esa tanda incluye y,
- c) del total anual de ese año (Tablas 8 a 12).

En todos los casos, salvo los de 1987 y 1989, los mayores periodos de retorno corresponden a las tandas de precipitación. Temporales como los de 1973 y 1982 ocurren estadísticamente cada 10 años o algo menos. Las lluvias de 1986 tienen, cómo mínimo, una recurrencia de 20 años y las registradas en Alcoi desbordaron este método de cálculo, pues las cantidades recogidas sobrepasaron, con creces, las de cualquier otra tanda precipitada en los 29 años de que consta la serie de observaciones. En 1986, por otra parte, apenas hay diferencia entre los periodos de retorno de las tandas y los de las máximas en 24 h que incluyen. Es un año excepcional por la magnitud de la tanda y su intensidad, que se alejan del hipotético umbral requerido para que se desencadenen los primeros movimientos de masa.

En 1973, 1982 y 1990 ni las máximas en 24 h incluidas en la tanda extraordinaria, ni los totales anuales fueron especialmente importantes, puesto que su recurrencia es, en general, de 2 a 3, como máximo de 5 años. En 1982, en los observatorios disponibles, las únicas lluvias excepcionales fueron las de Almu-daina. En esta ocasión, las condiciones previas de sequía prolongada, y una tanda de lluvias no tan importante pero inmediatamente seguida por la otra, fueron determinantes.

TABLA 11

Periodos de recurrencia (años) de las precipitaciones máximas en 24 horas						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
CARRICOLA (mm) Per. rec.	85 1,7	195 13,6	305 394	62 1,4	100 2,1	130 3,9
BENIATJAR (mm) Per. rec.	100 1,8	199 10	360,5 272	62,2 1,2	103,1 1,9	103,5 1,9
AGRES F.EVA (mm) Per. rec.	115 -3,5	268 -100	176,8 -15	42,4 -1	200 27,5	80 -1,7
BENIARRES E. Per. rec.	-	209 12,3	-	-	-	111,7 2,4
ALMUDAINA (mm) Per. rec.	117,5 3,2	204 17,5	180 10	41,8 1	88,2 1,8	78,5 1,5
COCENTAINA (mm) Per. rec.	-	-	260 73,3	-	-	50 1,2
GORGA (mm) Per. rec.	116 3,7	232 67,3	132 5	35 1	210 38,8	68 1,4
ALCOI CHJ (mm) Per. rec.	-	-	125,5	49,5	97,6	49,5
ALCOI (mm) Per. rec.	43 1,5	251 1543	106 9	-	-	-
TARBENA (mm) Per. rec.	236,3 17,2	241,1 18,5	79,1 1,4	140,5 3,3	255,6 24,5	82,7 1,5
GUADALEST (mm) Per. rec.	210 8,5	198 7	-	-	-	76 1,3
XATIVA (mm) Per. rec.	43,5	186	250	45	100	135

Al contrario que en los casos descritos, en 1987 lo realmente extraordinario son las máximas diarias incluidas en la tanda. En Cocentaina y Alcoi las máximas en 24 horas de 1987 son insólitas, con periodos de retorno de 31,5 años en Alcoi y 56-57 en Cocentaina.

1989 fue un año excepcionalmente húmedo, predecesor de los eventos de 1990, del mismo modo que lo fué 1972, año en el que en Beniarrés precipitaron valores con un período de recurrencia de 13 años.

Como ya se ha apuntado, la distribución espacial de las tandas extraordinarias de 1982 y 1987 es muy irregular, con la peculiaridad en 1987 de que destacan entre las demás, zonas que normalmente quedan en segundo plano. Ello nos hace pensar en distintos ritmos muy locales de evolución de las laderas margosas por estos procesos.

## 6. DISCUSIÓN RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Es preciso advertir que las siguientes conclusiones tienen la limitación de la naturaleza de los registros climáticos de los observatorios del área estudiada, que son aún demasiado cortos e irregulares para que estas adquieran el carácter de definitivas.

La observación directa y el análisis comparado de foto aérea y series pluviométricas ha revelado una cierta coincidencia espacio-temporal de dos sucesos de carácter intermitente: lluvias extraordinarias y movimientos de masa (LA ROCA, 1991b). Se desconoce en gran medida el mecanismo que los relaciona, pero parece claro que las lluvias aceleran la ocurrencia de roturas de laderas inestables.

Se distinguen básicamente dos tipos de precipitación, que se asocian además a diferentes consecuencias morfogenéticas, a cargo de movimientos de ladera.

Por un lado, a) *tandas muy intensas de precipitación, a veces precedidas de un pequeño período húmedo, que siguen a una prolongada y/o intensa sequía responsable de la apertura de profundas grietas de retracción.*

La intensidad necesaria para desencadenar movimientos está, en cierta medida, en función de ese pequeño período previo de humedad. En caso de que se produzca, la intensidad de la tanda impulsora puede ser menor. Como valor indicativo se ha hallado el de 300 mm o más, para la tanda que incluye además intensidades en 24 h  $\geq 100$  mm. Con esas precipitaciones el la ocurrencia de movimientos es segura, pero tandas menores ( $\geq 200$  mm e incluso menos) pueden también impulsarlos en condiciones del terreno más favorables. En el otro caso, el único ejemplo de que se dispone superó los 500 mm en una sólo tanda, que incluía intensidades diarias  $\geq 200$ mm. Los movimientos que se generan por estos dos tipos de precipitación típicamente mediterráneo, son resultado del rápido aumento de la presión lateral del agua en las grietas y se disparan en condiciones de drenaje impedido. Son superficiales y normalmente cubren áreas relativamente pequeñas en función de la extensión del área afectada por el temporal.

En el primer caso el volumen de la tanda suele condicionar el período de

TABLA 12

Periodos de recurrencia (años) de las precipitaciones totales anuales indicadas						
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
CARRICOLA (mm) Per. rec.	675,4 2	764,2 2,6	810,8 3,1	609 1,8	1147,8 10	1125 10
BENIATJAR (mm) Per. rec.	666,8 1,6	841,9 2,5	958,7 3	525,9 1,4	1042,6 4	1112,5 5
AGRES F.EVA (mm) Per. rec.	-	999,5 7,5	666,8 -1,9	514,6 -1,3	1134,5 -14	980 -7
BENIARRES E. (mm) Per. rec.	-	-	-	-	-	939,8 6,5
ALMUDAINA (mm) Per. rec.	-	976,8 5	631 1,9	410,5 1,3	1040 5	901,1 3,7
COCENTAINA (mm) Per. rec.	-	-	784,8 3,3	385,7 0,9	-	680,3 2,5
GORGA (mm) Per. rec.	635,5 2,3	1007 10	662 2,5	411 1,2	1107 20	842 5
ALCOI CHJ (mm) Per. rec.	337,6	-	527,8	496,5	882,4	561,6
ALCOI. (mm) Per. rec.	428 1,5	813 10	489,5 2	-	-	-
TARBENA (mm) Per. rec.	1068,9 2,9	914,4 2	523,4 1,2	587,5 1,3	1484,8 6,8	930,3 2,1
GUADALEST (mm) Per. rec.	845,7 3,1	994,7 4,4	-	-	-	795,5 2,5
XATIVA (mm) Per. rec.	461,5 1,1	839,5 2,6	845,6 2,6	484,1 1,1	1301,1 20	949,8 3,7

recurrencia del suceso, que es de unos 10 años, aunque, en alguna ocasión, es la máxima en 24 h la que es menos frecuente. Se desconocen las intensidades horarias, que con seguridad tienen mucho que ver. En síntesis, los intervalos de recurrencia cercanos a los 10 años, son los más bajos encontrados.

En el segundo caso el período de recurrencia es mucho más elevado - 20 años y más, y en lugares como Alcoi los intervalos se disparan desbordando el método de cálculo.

Los temporales no afectan a todos los valles por igual. Hay zonas, a barlovento de las sierras, que destacan por húmedas, como Almudaina, Agres, algo menos, Beniarrés, Gorga a la entrada de la Vall del Ceta, frente a Cocentaina o Alcoi.

Este tipo de lluvias acaece durante el otoño.

Por otro lado, *b) años excepcionalmente húmedos (> 1000 mm), seguidos de tandas menos intensas que las arriba vistas*, van asociadas a movimientos profundos y movimientos superficiales generalizados en el paisaje. Prevalece el disparo en condiciones de drenaje libre, con altas presiones intersticiales en el interior del suelo saturado.

Las tandas pueden sumar  $\approx 200$  mm y el período de retorno viene condicionado por la concentración de humedad anual (año no necesariamente oficial) y, en casos, es superior a 10 años (14 e incluso 20).

Son lluvias de invierno.

La cartografía de las tandas, máximas en 24 h y totales anuales para periodos de recurrencia de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años ha arrojado imágenes diferentes en función del tipo de precipitación considerado.

Las máximas en 24 h presentan núcleos máximos junto al litoral para todos los periodos de recurrencia y cada vez más hacia el litoral cuanto mayor es el período de retorno contemplado.

Los núcleos máximos de las tandas se trasladan al interior de los conjuntos montañosos para todos los periodos de recurrencia, y, por último, los picos máximos de los totales anuales presentan una posición intermedia.

Por tanto, también cuando se consideran sólo las tandas, el prebético valenciano sigue destacando por su humedad, entre el entorno semiárido; pero no así en el caso de las máximas o torrencialidad en 24 horas.

En general en los valles de Alcoi, las tandas máximas son desencadenadas por el 'temporal de Llevant' (generalmente procedente del NE) durante el cuarto trimestre del año, principalmente durante el mes de octubre, seguido en importancia por el de diciembre. Las masas de aire mediterráneo cargadas de humedad entran entonces a lo largo del valle del Serpis ascendiendo contra la alineación Mariola-Almudaina y por la parte occidental de la Serrella. Esta primera descarga diferencia en los valles de Alcoi, un sector N, más húmedo y con tandas más intensas, de otro meridional.

La Vall del Ceta, abierta al SW y protegida por el Benicadell, Serra d'Almudaina, de Alfaro y otras, de los vientos del N y NE y por la Bèrnia, Aitana, Aixortà

y la Serrella, de los del SE, debe la mayor parte de sus tandas máximas a la circulación atlántica, con predominio, por tanto, de las de primavera/invierno. El efecto de embudo en este valle tiene como consecuencia tandas más intensas al fondo del mismo.

CUADRO 1

SITUACION CLIMATICA PREVIA	ESTADO DEL SUELO	LLUVIAS DIRECTAMENTE RELACIONADAS CON EL MOVIMIENTO	CONDICIONES MECANICAS AL INICIO DEL MOVIMIENTO	TIPO DE MOVIMIENTO
sequía	reseco, agrietado, resquebrajado	tanda $\geq$ 500 mm con máximas en 24 h $\geq$ 200 mm	elevada presión lateral del agua en las grietas, drenaje impedido	superficial localizado
sequía + tanda de lluvias preparatorias	cierta humedad concentrada en las grietas y en su entorno	tanda $\geq$ 200 mm con máximas en 24 h $\geq$ 100 mm		
humedad prolongada	húmedo, próximo a la saturación o saturado	tanda $\geq$ 200 mm con máximas en 24 h $\geq$ 75 mm	elevada presión del agua en los poros y grietas, drenaje libre	superficial generalizado en el paisaje y profundo en puntos propicios

**Agradecimientos:** El trabajo de campo y la parte estadística fue llevado a cabo con ayuda de la Universitat de València. La autora agradece al Dr. V.M. Rosselló los años de dirección de esta investigación realizada en el marco de la Tesis Doctoral; a todos los colegas del área de Geografía Física por las múltiples y enriquecedoras discusiones, especialmente a los Drs. Bernabé y Calvo por su ayuda en la parte informática y al Dr. Mateu por la revisión última del trabajo. Muy especialmente agradece al Dr. Celma de la E.T.S.I. de C.C.P. de la Universidad Politécnica de València la información y aclaración de temas relacionados con la Mecánica de Suelos y su ayuda inestimable en la elaboración de la cartografía informática.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERNABÉ MAESTRE, J.M. y MATEU BELLÉS, J.F. (1976): Tratamiento estadístico de precipitaciones aplicado al País Valenciano, *Cuad. Geogr.*, 18: 1-25
- BERNABÉ MAESTRE, J.M. (1975): Red fluvial y niveles de terrazas en la depresión Cocentaina-Muro (Valls d'Alcoi), *Cuad. Geogr.*, 16: 23-39
- BJERRUM, L. y JØRSTAD, F. (1957): Rockfalls in Norway, *Norwegian Geotech. Inst.*
- BOIX FERRERO, M.; REL ROIG, A. y DE JODAR BONILLA, D. (1982): La sequía de 1978-1981 en tierras valencianas, *Cuad. de Geogr.*, 30: 25-40
- CAMARASA, A. (1991): La intensidad de las lluvias extremas mediterráneas a partir de la red S.A.I.H, *Congreso de la AGE, Valencia*, Mayo 1991.

- 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 37º*, 1: 109-132
- CLAVERO PARICIO, P.L. (1979): Influencia del Mediterráneo en las precipitaciones del País Valenciano, *Notes de Geografía Física*, 1: 13-25
- CLAVERO PARICIO, P.L. (1981): Estudio de la persistencia de días de precipitación en Valencia. Probabilidades de secuencias de n días., *Notes de Geografía Física*, 4: 31-39
- CROZIER, M.J. (ed.) (1986): *Landslides, Causes, Consequences & Environment*, London, 252 p.
- ELÍAS CASTILLO, F. (1963): *Precipitaciones máximas en España. Régimen de intensidades y frecuencias.*, Madrid, Ministerio de Agricultura, 267 p.
- FONT TULLOT, J. (1983): Algunas observaciones sobre las lluvias excepcionales en la vertiente mediterránea española, *Est. Geogr.*, 170-171: 55-59
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. (1983): Situaciones atmosféricas tipo que provocan aguaceros torrenciales en comarcas del mediterráneo español, *Est. Geogr.*, 170-171: 61-73
- GERLACH, T. (1966): Wspolezesty rozwój stokow w dorzeczu gornego Grajczarka, *Prace Geogr. IG PAN*, Warsaw, 52: 1-110
- GIL OLCINA, A. (1983): Inundaciones de octubre de 1982 en el Campo de Alicante, *Est. Geogr.*, 170-171: 121-141
- GIL OLCINA, A. (1983) (dir.): *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*, Inst. Univ. de Geografía, Univ. de Alicante, 128 p.
- GUMBEL, E.J. (1954): *Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications*, U.S. Nat. Bureau of Standards. App. Maths. Series 33. (citado por Elias Castillo)
- GUMBEL, E.J. (1958): *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York. (citado por Elias Castillo)
- IGME (1981): *Memoria del Mapa Geológico de España, Játiva*, 795, 1:50.000, Min. Ind. Energ., 28 p.
- KUNOW P. (1947): *Das Klima der Landschaft Valencia und der Balearen auf Grund der spanischen Wetterbeobachtungen der Jahre 1908 bis 1927*, Trad. I. Belloch Zimmermann, 1966, Ed. Inst. Alfonso el Magnánimo, Dip. Prov. de Valencia., 239 p.
- LA ROCA, N. (inéd.): *Geomorfología de los alrededores de Benillup (Valles de Alcoi)*, (Tesis de Licenciatura), 180 ff.
- LA ROCA, N. (1991a): Interpretación geomorfológica de un movimiento de masa: La Muntanya Assolada (Alzira), *VIII Reunión Nac. Cuat.*, AECUA, Ed. Dpt. Geogr. Univ. València y S.I.P. Dip. València, sep. 1991: 147-152
- LA ROCA, N. (1991b): Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität der Massenbewegungen im Einzugsgebiet des Riu d'Alcoi (Alicante, Ostspanien), *Erde*, Berlin, (en prensa)
- LAUTENSACH, H. (1964): *Geografía de España y Portugal*, Ed. Vicens Vives, 1967 (edición española), 814 p.

- LÓPEZ GÓMEZ (1978): El clima en: *Geografía de la provincia de Alicante*, dir. por A. López Gómez y V.M. Rosselló Verger Ed. Dip. Prov. de Alicante: 107-117
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1983): Las lluvias catastróficas mediterráneas, *Est. Geogr.*, 170-171: 11-29
- MARX, S. (1969): Die Unwetter in Norditalien Anfang November 1966 in klimatologischer Sicht und Vergleich zu mitteleuropäischen Verhältnissen, *Wiss. Z. Pädag. Hochschule Potsdam, Math.-Naturwiss.*, 13: 1005-1035
- MIRÓ-GRANADA GELABERT, J. (1983): Consideraciones generales sobre la meteorología de las riadas en el Levante español, *Est. Geogr.*, 170-171: 31-53
- NEUMANN, H. (1960): El clima del sudeste de España, *Est. Geogr.*, 79: 171-209
- PEINADO SERNA, A. y ALMARZA MATA, C. (1983): Las lluvias copiosas de los días 19 y 20 de octubre de 1982 como extremo puntual en la vertiente mediterránea levantina española, *Est. Geogr.*, 170-171: 75-85
- PELLEGRINI, G.B. (1969): Osservazioni geografiche sull' alluvione del November 1966 nella valle del Torrente Mis, *Atti e Mem. Ac. Patavina*, 81: 277-318
- PÉREZ CUEVA, A. y ARMENGOT SERRANO, R. (1983): El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cuenca baja del Júcar, *Cuad. Geogr.*, 32-33: 61-86
- PÉREZ CUEVA, A. (Dir.), DIAGO GÓMEZ, D. y PEÑARROCHA FERRER, D. (1989): *Aspectos climáticos básicos del territorio valenciano*, Direc. Gen. de Urbanismo, COP, Gen. Valen., 3 tomos, (inéd.).
- RASO NADAL, J.M., CLAVERO PARICIO, P.L. y MARTÍN VIDE, J. (1981): La sequía del año agrícola 1980-81 en España, *Notes de Geografía Física*, 6: 31-47
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1977): Síntesis geológica del Prebético en la provincia de Alicante. II) Tectónica, *Bol. Geol. y Min.*, LXXXVIII-IV: 273-299
- ROSSELLÓ VERGER, V.M. (1965): Distribución de cultivos en la provincia de Alicante, *Cuadernos de Geografía*, 2: 1-38
- ROSSELLÓ VERGER, V.M. (1983): La formación de la riada del Júcar (20/21 oct. 1982) aguas arriba de Tous, *Est. Geogr.*, 170-171: 171-185
- SAN PEDRO, B. de (1784): *Descripción del hundimiento y cortaduras del Monte del Baladre, territorio de Alzira, Valencia*.
- STARKEL, L. (1963): Der Stand der Forschungen über die morphogenetischen Prozesse im Quartär in den Karpathen, *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften Göttingen*, 10: 139-161.
- VILÀ VALENTÍ, J. (1961): El Sud-Est peninsular, una regió climàtica, *Miscel.lània Fontseré*, Barcelona, G. Gili: 445-449
- TERZAGHI, K. (1950): Mechanism of Landslides, *The Geological Society of America, Selected Professional Papers, Engineering Geological Volume*: 202-245
- TERZAGHI, K. (1964): Stability of steep Slopes on hard unweathered Rock, *Geotechnique*, 12: 251-270