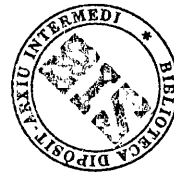


R.H. M. 559

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
DEPARTAMENT DE GEOGRAFIA



LA INFILTRACIÓN EN LOS SUELOS DEL PAÍS VALENCIANO. FACTORES Y VARIACIONES ESPACIO- TEMPORALES

Tesis Doctoral presentada por

Artemi CERDÀ BOLINCHES

Dirigida por

Dr. Adolfo Calvo Cases

Dr. Rafael García Bartual

València, junio del 1993



UMI Number: U607277

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U607277

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

Este trabajo ha sido dirigido por los Drs. Adolfo CALVO CASES y Rafael GARCÍA BARTUAL y financiado por la *Conselleria d'Educació i Ciència* mediante una beca Doctoral de área preferente (1989-1993). Con el autor han colaborado directamente el *Departament de Geografia* de la *Universitat de València* y el *Fysisch Geografisch Bondemkundig Laboratorium* de la *Univesiteit van Amsterdam*.

"La naturaleza es imperfecta, yo quería ángulos rectos, simetría".

Allie-Fox, en "The Mosquitia Coast"

Agradecimientos

Quiero agradecer la colaboración encontrada en los Drs. Adolfo Calvo Cases y Rafael García Bartual en la dirección de este estudio. En ellos hallé siempre soluciones a los problemas planteados por la investigación y ánimos para continuar con un trabajo que en algunos momentos fue extenuante.

La elaboración de los estudios experimentales como el presentado necesitan de un importante apoyo económico, el cual, ha sido en parte cubierto por una beca de la *Conselleria d'Educació y Ciència* (1989-1993), dos becas de estancia en el extranjero de la misma institución, así como la colaboración del proyecto de investigación NAT89-1072-C06-04 de la CICYT-PNICYDT.

Otras instituciones que han colaborado en la elaboración de esta Tesis Doctoral han sido el *Departament de Geografia* de la *Universitat de València* y el *Fysisch Geografisch Bondemkundig Laboratorium* de la *Univesiteit van Amsterdam*.

También quiero agradecer la ayuda de todos aquellos que han colaborado desinteresadamente en los trabajos de campo y laboratorio: Jorge Payá, Joseba Rodriguez, Victor M. Manzanarez, Enrique Terol, Vicent Altur, Roser Ibàñez, Joanma Calatayud, Anne Mather, J. Ignacio Úrios, José Mestre, Ana Blázquez y Esperanza Cassassola, así como la colaboración de la familia de de Mario Payá durante las estancias en Petrer.

A José M^a, Raquel i Rosina.

A tots cinc.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Infiltración: el proceso	8
2.2. Modelización de la infiltración	11
2.3. Modelos de producción de escorrentía	16
2.4. Procesos geomorfológicos e hidrológicos en los ecosistemas mediterráneos	22
2.5. Controles de la infiltración: factores	24
2.5.1. Factores edáficos	24
2.5.1.1. <i>Biológicos</i>	25
2.5.1.2. <i>Litológicos</i>	27
2.5.2. Factores climáticos	31
2.5.3. Factores geomorfológicos	34
2.5.4. Factores culturales	36
2.5.5. Incendios forestales y abandono de cultivos. Dos factores relevantes en el ámbito mediterráneo en la actualidad	40

2.5.5.1. <i>Incendios forestales</i>	40
2.5.5.2. <i>Abandono de cultivos</i>	43
2.5.6. Interrelación de factores	46
2.6 Técnicas de medición: evolución y críticas	46
2.6.1. Medición con encharcamiento: infiltrómetro de cilindro	47
2.6.2. Medición a partir de lluvia simulada. Evolución de la técnica	51
2.6.2.1. <i>Evolución de los simuladores de lluvia</i>	51
2.6.2.2. <i>Simuladores goteadores</i>	53
2.6.2.3. <i>Simuladores pulverizadores</i>	56
2.6.2.4. <i>Inconvenientes y ventajas de los simuladores de lluvia</i>	59
2.6.2.5. <i>Expansión geográfica de los simuladores de lluvia</i>	60
3 METODOLOGÍA	63
3.1. Elección de las zonas de estudio	63
3.1.1. Las areniscas del Bundsenstein: Puçol	66
3.1.2. Los materiales plásticos del Keuper: Anna, Torís, Requena y Monnegre.	68
3.1.3. Las margas del Senoniense: Petrer y Monnegre.	74
3.1.4. Las calizas: Genovés, Bolbens, Vall de Gallinera y Pedralba.	80
3.2 Métodos y técnicas	87
3.2.1. Infiltrómetro de cilindro	88
3.2.2. Infiltrómetro de lluvia simulada	88
3.2.2.1. <i>Simulador de lluvia: equipo</i>	88
3.2.2.2. <i>Características de la lluvia simulada</i>	91
a) <i>Intensidades y distribución de la precipitación</i>	91
b) <i>Tamaños de gotas</i>	94
3.2.2.3. <i>Parcelas</i>	94
3.2.3. Experimentos con lluvia simulada y mediciones complementarias	95
3.3. Determinaciones analíticas	97
3.3.1. Suelos	97
3.3.2. Escorrentía	99
3.4. Tratamiento de la información	99
3.4.1. Cálculo de variables	100
3.4.2. Modelización de la infiltración.	104
3.5. Análisis de la información	107

4. INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA Y EXPORTACIÓN DE SEDIMENTOS	109
4.1. La elevada infiltrabilidad de los suelos sobre areniscas del Bundsanstein. Puçol	110
4.3.1. Mediciones con lluvia simulada	111
4.3.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro	112
4.3.3. Erosión del suelo y salinidad de la escorrentía	113
4.2. Los abarrancamientos sobre margas del Senoniense en el sur del País Valenciano. Petrer y Monnegre.	114
4.2.1. Respuesta a la lluvia simulada	115
4.2.1.1. <i>Suelos sin cobertura vegetal: enlosados, laderas y pediments de Badlands</i>	116
4.2.1.2. <i>Suelos con distintas cubiertas vegetales</i>	119
4.2.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro	121
4.2.3. Erosión del suelo y salinidad de la escorrentía	124
4.2 Distintos ambientes sobre arcillas del Keuper. Anna, Requena, Torís y Monnegre	129
4.3.1. Hidrología de los suelos en una típica cuenca sobre arcillas del Keuper. Anna	129
4.3.1.1. <i>Experimentos con lluvia simulada</i>	130
4.3.1.2. <i>Mediciones con infiltrómetro de cilindro</i>	134
4.3.1.3. <i>Perdida de suelo</i>	135
4.3.2. Otros suelos sobre arcillas del Keuper: Requena, Monnegre y Torís	137
4.3.2.1. <i>Experimentos con la lluvia simulada</i>	138
4.3.2.2. <i>Mediciones con infiltrómetro de cilindro</i>	142
4.3.2.3. <i>Perdida de suelo</i>	143
4.4. Hidrología superficial de los suelos calcáreos	146
4.4.1. Las altas capacidades de infiltración de las laderas con matorral	146
4.4.1.1. <i>Respuesta a la lluvia simulada</i>	147
4.4.1.2. <i>Mediciones con infiltrómetro de cilindro.</i>	150
4.4.2. Comportamiento de la pérdida del suelos y la salinidad	151
4.5 El abandono de los campos de cultivo	154
4.5.1. Reconstrucción de la evolución hidrológico-erosiva de los suelos tras el abandono de las terrazas. Vall de gallinera	154
4.5.1.1. <i>Cambios en el ecosistema suelo tras el abandono</i>	155
4.5.1.2. <i>Evolución de la infiltración</i>	157
4.5.1.3 <i>Fluctuaciones en la perdida de suelo</i>	160

4.5.2. Influencia de la litología en el comportamiento hidrológico-erosivo tras el abandono: Petrer, Torís y Genovés	162
4.5.2.1. <i>Hidrología de los suelos abandonados ante la lluvia simulada</i>	163
4.5.2.2. <i>Mediciones con infiltrómetro de cilindro</i>	167
4.5.2.3. <i>Perdida de suelo</i>	168
4.6. El fuego como modificador de los ecosistemas.	173
4.6.1. Alteraciones hidrológicas y erosivas del fuego: Genovés-Bolbens	173
4.6.1.1. <i>Respuesta hidrológica</i>	174
4.6.1.2. <i>Respuesta erosiva</i>	179
4.6.2. Regeneración de los ecosistemas tras los incendios	182
4.6.2.1. <i>Bolbens: influencia de algunas especies vegetales en la regeneración del suelo</i>	182
4.6.2.2. <i>Pedralba: respuesta hidrológico-erosiva tras el incendio</i>	189
4.6.3. Alteraciones antrópicas tras el incendio: Consecuencias hidrológico-erosiva de los cortafuegos	194
4.7. Frente de humectación: variaciones y tipologías	198
4.7.1. Suelos en laderas naturales en distintas litologías y cubiertas vegetales	199
4.7.2. Abandono de cultivos y frentes de humectación	201
5. FACTORES DE LA INFILTRACIÓN	207
5.1. Factores topográficos: pendiente y exposición	208
5.2. Vegetación: plantas, líquenes, musgos y hojarasca	212
5.2.1. Control de las plantas sobre la infiltración:	213
5.2.2. Líquenes y musgos: morfologías semejantes, repuestas contrastadas	216
5.2.3. Hojarasca: influencia positiva sobre la infiltración	217
5.3. Pedregosidad y encostramiento	218
5.4. Propiedades físicas de los suelos	224
5.4.1. Textura	226
5.4.2. Estructura	226
5.4.2.1. <i>Estabilidad de los agregados ante el impacto de las gotas</i>	226
a) <i>experimentos con el test CND ("Counting the Number of Drop-impacts")</i>	227
b) <i>experimentos con el test TDI ("Ten Drops Impacts")relación con el test CND</i>	232

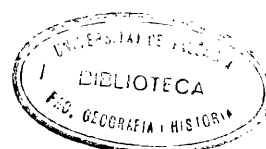
5.4.2.2. <i>Dispersión por ultrasonidos</i>	233
5.4.2.3. <i>Estabilidad de los agregados e infiltrabilidad</i>	235
5.4.3. Densidad y porosidad	236
5.4.4. Profundidad del suelo	237
5.5. Propiedades químicas de los suelos: materia orgánica y carbonato cálcico.	239
5.6. Factores dinámicos: precipitación y humedad	242
5.6.1. Influencia de la humedad sobre la infiltrabilidad de los suelos	242
5.6.1.1. <i>Alteraciones de la infiltrabilidad ante los cambios de la humedad previa de los suelos</i>	243
5.6.1.2. <i>Distribución espacial de la humedad e infiltrabilidad de los suelos</i>	246
5.6.2. Influencia de la intensidad de la precipitación sobre la infiltrabilidad de los suelos	247
5.7. Interrelación de factores en el proceso de infiltración	250
6. VARIABILIDAD DE LA INFILTRACIÓN	251
6.1. Variabilidad espacial	252
6.1.1. Comportamiento hidrológico de los suelos del País Valenciano	252
6.1.2. Variabilidad de la infiltración a nivel regional: diferencia entre distintas cuencas de drenaje	261
6.1.3. Variabilidad espacial a escala de ladera: la influencia de la vegetación	264
6.1.4. Relaciones entre la variabilidad espacial y la infiltrabilidad de los suelos	268
6.1.4.1. <i>Variabilidad de la infiltración según las mediciones con lluvia simulada. Influencia de la humedad</i>	269
6.1.4.2. <i>Variabilidad de la infiltración según las mediciones con infiltrómetro de cilindro</i>	275
6.1.4.3. <i>Variabilidad espacial y magnitud de la infiltrabilidad</i>	277
6.1.5. Variaciones espaciales de los cambios temporales	279
6.1.5.1. <i>Variaciones espaciales de α.</i>	280
6.1.5.2. <i>Relación entre la magnitud y las variaciones espaciales de α.</i>	283
6.2. Variabilidad estacional	288
6.2.1. Variaciones estacionales de la tasa de infiltración final estable (f_c) y de los patrones de producción de escorrentía	288
6.2.2. Variaciones estacionales en los cambios temporales de la infiltración	298

6.2.2.1. Variaciones espaciales de α.	
Zonas de estudio y tipos de suelos	298
a) suelos húmedos	300
b) suelos secos	302
6.2.2.2. Variaciones de α entre los periodos secos y húmedos	303
a) magnitud del decrecimiento de la tasa de infiltración con el tiempo (α)	303
b) influencia de la humedad sobre la variabilidad espacial de α : estacionalidad	305
7. CONCLUSIONES	315

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

APENDICES

- A. Un ejemplo de ficha de campo
- B. Distribución e intensidad de la lluvia simulada
- C. Características físicas y químicas de los suelos
- D. Descripción de las parcelas
- E. Resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro
- F. Resultados de los experimentos con lluvia simulada
- G. Resultados de los experimentos con varias intensidades de lluvia simulada



ABREVIATURAS

- α : decaimiento de la tasa de infiltración según el modelo de Horton, obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada (min^{-1})
- A : infiltración constante en la ecuación de Philip (mm h^{-1})
- a : infiltración final estable en el modelo $i = a + b^{-t}$
- b : decaimiento de la tasa de infiltración en el modelo $i = a + b^{-t}$
- B_i : biomasa (cm^3)
- C_e : coeficiente de escorrentía
- C_{e15} : coeficiente de escorrentía entre el minuto 0 y 15 del experimento
- C_{e25} : coeficiente de escorrentía en el 25 % final de la duración de esta
- C_{e30} : coeficiente de escorrentía entre el minuto 15 y 30 del experimento
- C_{e45} : coeficiente de escorrentía entre el minuto 30 y 45 del experimento
- C_{e60} : coeficiente de escorrentía entre el minuto 45 y 60 del experimento
- CND : "Counting the Number of Drops-impacts". Test de la gota
- cv : coeficiente de variación (%)
- D : densidad real (g cm^{-3})
- D : densidad aparente (g cm^{-3})
- D_v : densidad de la vegetación (cm x \%)
- E_c : escorrentía constante (mm h^{-1})
- E_i : escorrentía instantánea (mm h^{-1})
- E_{sm} : escorrentía media (mm h^{-1})
- E_t : escorrentía total (mm)
- $i\alpha$: tasa de decaimiento de la tasa de infiltración según el modelo de Horton, obtenida a partir de mediciones con infiltrómetro de cilindro (min^{-1})
- l_a : infiltración instantánea (mm h^{-1})
- l_c : infiltración estable o constante (mm h^{-1})
- l_{fc} : tasa de infiltración final estable según el modelo de Horton, obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada (mm h^{-1})
- l_{fo} : tasa de infiltración en el minuto 0, según el modelo de Horton, obtenida a partir de experimentos con infiltrómetro de cilindro (mm h^{-1})
- l_i : infiltración instantánea (mm h^{-1})
- l_p : intensidad de la precipitación (mm h^{-1})
- K_s : conductividad hidráulica saturada (mm h^{-1})
- P : porosidad (%)

<i>Pc</i> :	precipitación constante (mm h^{-1})
<i>Pd</i> :	duración de la precipitación (mm h^{-1})
<i>Pi</i> :	precipitación instantánea (mm h^{-1})
<i>Pm</i> :	precipitación media (mm h^{-1})
<i>Pt</i> :	precipitación total (mm h^{-1})
<i>Pt</i> :	precipitación total (mm)
<i>q</i> :	parámetro de la ecuación $i = q t^z$
<i>s</i> :	área de la parcela (m^2)
std :	desviación estándar
<i>tc</i> :	tiempo de inicio de la infiltración constante (min) según la ecuación de Horton con un precisión del 95 %.
TDI :	"Ten Drops Impacts". Test de la gota
<i>te</i> :	tiempo de inicio de la escorrentía (min)
<i>tfe</i> :	tiempo de inicio del fin de la escorrentía (min)
<i>tfp</i> :	tiempo de inicio del fin de la lluvia (min)
<i>tic</i> :	tiempo de inicio de la infiltración constante (min)
<i>tip</i> :	tiempo de inicio de la lluvia (min 0)
<i>to</i> :	tiempo de inicio de la escorrentía según la ecuación de Horton (min)
<i>tp</i> :	tiempo de inicio del encharcamiento (min)
<i>tr</i> :	tasa de escorrentía (mm h^{-1})
UD :	"Ultrasonic Disruption". Test por ultrasonidos
<i>Vcg</i> :	volumen infiltrado al cierre de grietas (mm)
<i>Ve</i> :	volumen infiltrado al inicio de la escorrentía (mm)
<i>Vfe</i> :	volumen infiltrado al fin de la escorrentía (mm)
<i>Vfp</i> :	volumen infiltrado al fin de la lluvia (mm)
<i>Vi15</i> :	volumen infiltrado en el minuto 15 (mm)
<i>Vi30</i> :	volumen infiltrado en el minuto 30 (mm)
<i>Vi45</i> :	volumen infiltrado en el minuto 45 (mm)
<i>Vi60</i> :	volumen infiltrado en el minuto 60 (mm)
<i>Vic</i> :	volumen infiltrado al inicio de la infiltración constante (mm)
<i>Vip</i> :	volumen infiltrado al inicio de la lluvia (mm)
<i>mS</i> :	microSiemens (conductividad eléctrica de la escorrentía, salinidad)
<i>tr</i> :	tasa de erosión ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)
<i>cs</i> :	concentración de sedimentos (g l^{-1})
<i>sy</i> :	sedimentos totales (g)
<i>tcs</i> :	tendencia temporal de la concentración de sedimentos

ts: **tendencia temporal de la conductividad eléctrica de la esorrentía (salinidad)**

1. INTRODUCCIÓN

El término infiltración ha sido definido por el *Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua* (RAE, 1984) como la introducción de un líquido en los poros de un sólido. Publicaciones más especializadas, lo definen como el proceso por el cual el agua penetra en el suelo o sustancia porosa, en sentido descendente desde la superficie y a través de pequeñas aberturas o poros (WHITTOW, 1984). La acepción utilizada en este trabajo es aquella que entiende el proceso de una forma restringida: paso del agua desde la atmósfera al interior del suelo (WEYMAN, 1975; KIRKBY, 1985; PONCE, 1989; SUMMERFIELD, 1991).

Entre los distintos conceptos que definen el proceso de infiltración, cabe resaltar la *Tasa de Infiltración*, la cual hace referencia al volumen agua penetrado en el suelo por unidad de tiempo (DOUGLAS, 1977), y *Capacidad de Infiltración*, entendida como la máxima tasa posible de infiltración del suelo en un momento determinado (GREGORY y WALLING, 1973; KNAPP, 1978; KIRKBY, 1978). Algunos autores han puesto de manifiesto los defectos y ambigüedades del término capacidad de infiltración en la definición de las características hidrológicas del suelo, por lo que utilizan el concepto *Infiltrabilidad* (WILCOX *et al.*, 1988). Según HILLEL (1971; 1982), la infiltrabilidad se entiende como el flujo del agua a través de la superficie del suelo, haciendo referencia a la aptitud que tiene un suelo para absorber agua de una forma

global: cambios temporales de la tasa de infiltración y capacidad de infiltración final estable.

Concretamente, el término **infiltración** nos define el proceso por el cual el agua pasa a través de la interfaz suelo-aire (ALIM, 1986), es decir, el horizonte superficial. La transmisión del agua infiltrada a través de los horizontes inferiores se denominará *Percolación* (SELBY, 1982), siendo un proceso de comportamiento muy diferente al de la infiltración y del cual no se tratará ningún aspecto en este estudio.

Dentro del **ciclo hidrológico**, el proceso de infiltración representa una fase de capital importancia debido al control que ejerce sobre los mecanismos de generación de escorrentía (EMBLENTON y THORNES, 1979), la recarga de los acuíferos (SOULIOS, 1984/85), el almacenamiento de agua en el suelo (DUNIN, 1976; PONCE, 1989), e incluso la evaporación de ésta (HINO *et al.*, 1987), como se muestra esquemáticamente en la figura 1.1.

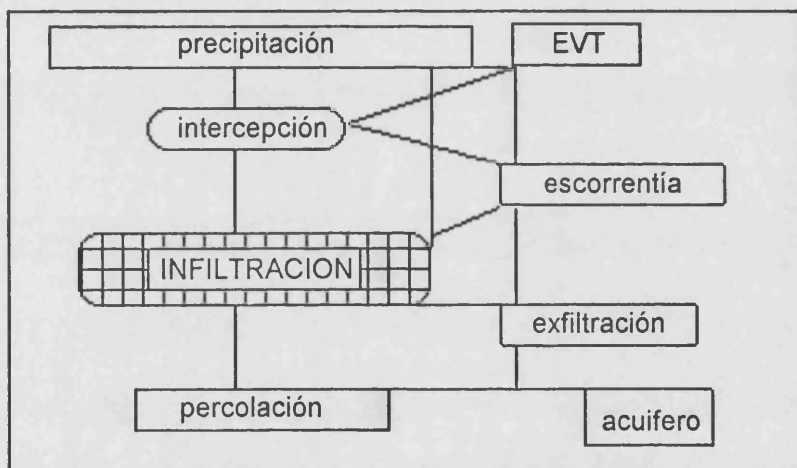


Figura 1.1. La importancia de la infiltración en el ciclo hidrológico como proceso regulador y gestor de la lluvia

La importancia del proceso de infiltración reside en su papel como gestor del agua dentro del ciclo hidrológico (LEOPOLD *et al.*, 1964), y con ello de la vida sobre la tierra (FOK, 1988), ya que todos los ecosistemas dependen de la productividad de los vegetales, y éstos a su vez del agua almacenada en el suelo. Además, en un sentido hidrológico estricto, la infiltración es el proceso determinante de la transformación de la lluvia en caudal, como consecuencia del control que ejerce tanto sobre los procesos superficiales como subsuperficiales en una cuenca de drenaje (BRAS, 1990). Si consideramos el suelo como el filtro que rige las variables

hidrológicas de una cuenca (DUNNE y LEOPOLD, 1978), su capacidad de infiltración va a determinar las tasas de los procesos hidrogeomorfológicos, dentro de la cadena de parámetros interdependientes que es el ciclo hidrológico (MATEU, 1984). Este último, se puede definir como un sistema en cascada en el que la infiltración es el umbral regulador del resto de procesos y almacenes hídricos (CHORLEY y KENNEDY, 1971). De ahí, que todos los modelos de hidrología de laderas identifiquen el proceso de infiltración como el "*regulador central*" de la precipitación sobre las cuencas de drenaje (BURT y BUTCHER, 1984), siendo tras ella, el proceso que más claramente domina y controla los modelos de generación de escorrentía (BUTZER, 1984)

A pesar de la importancia del proceso de infiltración, tanto la dificultad en la medición (GOUDIE, 1981), como la complejidad de su comportamiento (ROSSELLO, 1983; MARCO y REYES, 1986; MATEU, 1990), han hecho que se haya obviado en muchas investigaciones dirigidas a la modelización hidrológica de cuencas de drenaje y al pronóstico de caudales (BLOOMFIELD *et al.*, 1981; ANDERSON y BURT, 1985b).

A nivel global, la importancia de la infiltración se basa en que más del 95 % de la precipitación terrestre se produce sobre las laderas (YOUNG, 1972; KIRKBY, 1988), y en que el agua es un elemento indispensable para vida (AMBIO, 1984), lo que hace que el paso del agua al interior del suelo se convierta en el proceso que determine el comportamiento de los distintos ecosistemas hidrológicos y terrestres (KIRKBY y CHORLEY, 1967; SCHUMM *et al.*, 1986).

El estudio de los procesos fluviales y su interrelación con las formas terrestres, hidrogeomorfología, está teniendo en las dos últimas décadas un destacado auge, como consecuencia tanto de una importante demanda social, como de una mayor dedicación por parte de los investigadores (GREGORY, 1979; BURGESS, 1986). Esta Tesis Doctoral debemos enclavarla en esta línea de investigación, ya que su objetivo es caracterizar el proceso de infiltración de los paisajes más representativos del País Valenciano, con una clara interrelación entre hidrología de suelos y procesos geomorfológicos. Varios aspectos son tratados en este estudio:

- Cuantificación del proceso de infiltración. Se pretende aportar datos sobre un proceso del cual hasta el momento, se conoce más por estudios teóricos que por empíricos.
- Medición de las principales variables de la pérdida de suelo por arroyada superficial en los distintos ambientes estudiados.

- Revisión de los antecedentes, con especial dedicación a los factores de la infiltración y sus métodos de medición.
- Relación del proceso de infiltración con sus factores en los suelos del País Valenciano.
- Dar a conocer las variaciones espaciales, temporales y estacionales del proceso de infiltración.
- Explicar las repercusiones hidrológico-erosivas de dos problemas ambientales de gran impacto sobre nuestros ecosistemas: abandono de cultivos e incendios forestales.
- Aportar información sobre la validez de los métodos de medición de la infiltración, concretamente el infiltrómetro de cilindro y la simulación de lluvia.

El estudio ahora presentado, puede facilitar el avance de ciertas investigaciones que se hasta el momento se han encontrado con una importante deficiencia en los conocimientos sobre el proceso de infiltración. En nuestra opinión, el trabajo realizado puede ayudar a entender el funcionamiento hidrogeomorfológico de los ecosistemas ya que:

- Mejora el conocimiento del comportamiento de la infiltración, lo que favorecerá el desarrollo de modelos de balance de agua y de nutrientes en los ecosistemas mediterráneos (AUGUSTINUS *et al.*, 1984a; 1984b).
- Nos permite conocer y modelizar la formación de la escorrentía en zonas de *interrill* (PARSONS *et al.*, 1990).
- Aumenta y enriquece nuestros conocimientos sobre la infiltración, lo cual puede ayudar a la gestión y conservación del agua y el suelo (FOK, 1987).
- Ayuda en el desarrollo de una buena base de datos empírica, que a su vez mejore la modelización tanto de la infiltración como de otros procesos hidrológicos dependientes de ella (BERNDTSSON, 1988).
- Suministra información para la cartografía de zonas de infiltración homogénea que, a escalas muy pequeñas, tanto a partir de fotografía aérea como de imágenes de satélite (GUEBERT y GARDNER, 1989), pueden producir información de base muy interesante para estudios hidrológicos regionales.
- Facilita el desarrollo de modelos de producción de escorrentía y predicción de caudales, ya que puede permitir que éstos dejen de tratar la transformación de la lluvia en caudal mediante modelos de caja negra (CONNOLLY *et al.*, 1990a; 1990b; RITTER, en prensa). Hasta el momento, las mediciones directas de la infiltración no han sido tenidas en cuenta en los

estudios a escala de cuenca, a pesar de que el agua infiltrada es en volumen mucho mayor a la escurrida, incluso en ambientes mediterráneos (CAMARASA, 1991).

La estructura seguida en la presentación de este trabajo es la siguiente:

- En el apartado dedicado al estudio de los antecedentes (capítulo 2) se hace una revisión de los conocimientos sobre el proceso físico de la infiltración y la modelización de éste, así como una reflexión sobre su importancia en los procesos hidrogeomorfológicos, desde una visión mediterránea. También se ha realizado un inventario de los principales **factores de la infiltración** y sus **técnicas de medición**, con la intención de dar información a través de la revisión bibliográfica de la evolución de los conocimientos del comportamiento de este proceso hidrológico y de cómo medirlo.

- El capítulo 3 está dedicado a la presentación de las **técnicas y métodos** utilizados en el desarrollo de la investigación, la cual ha seguido la siguiente estructura:

- Elección de las zonas de estudio y ambientes representativos.
- Selección de los suelos, colocación y descripción de las parcelas, realización de los experimentos y medición de todas las variables hidrogeomorfológicas generadas por la lluvia simulada y el infiltrómetro de cilindro.

- Tratamiento y análisis de la información.
- La presentación de los **resultados** se realiza en el capítulo 4. En él, se caracteriza la **hidrología** de los suelos del País Valenciano agrupados por ambientes y zonas específicas para condiciones de humedad mínimas. Se tienen en cuenta tanto las mediciones realizadas a partir de *lluvia simulada* como las tomadas con *infiltrómetro de cilindro*, junto a las cuales se aporta información de la **respuesta erosiva de los suelos**. También se dedican apartados especiales al efecto de los **incendios forestales** y el **abandono de los campos de cultivo** sobre la infiltrabilidad y erosionabilidad de los suelos, así como a la caracterización de las morfologías adoptadas por los frentes de humectación en los suelos más característicos tras los experimentos con lluvia simulada.

- el capítulo 5 está dedicado íntegramente a los distintos **factores de la infiltración** y a la definición de la importancia de cada uno de ellos. Se investiga la influencia de algunos factores edáficos (textura, pedregosidad, etc.), biológicos (plantas, musgos, etc.), además de la influencia de la intensidad de

la precipitación y la humedad previa, discutiéndose acerca de la interrelación de todos estos factores. Se da una visión de conjunto de la muestra estudiada a partir de los experimentos en suelos secos sobre parcelas representativas, centrándose exclusivamente en los resultados de las zonas de estudio o unidades de suelos en casos muy concretos.

- en el capítulo 6, se analizan las **variaciones temporales, estacionales y espaciales** de la infiltración. Entendemos las *variaciones temporales* como las ocurridas en un intervalo de tiempo corto, en nuestro caso, la duración del experimento, mientras que las *estacionales* son fruto de los cambios acaecidos a lo largo del año, los cuales están determinados esencialmente por la estacionalidad de algunos factores: humedad del suelo, cambios en la vegetación, etc. En cuanto al estudio de las *variaciones espaciales*, se ha llevado a cabo a diferentes escalas: entre zonas de estudio, cuencas de drenaje y laderas.

El esquema general del trabajo se presenta en la figura 1.2, en la cual escuetamente se detallan los aspectos estudiados.

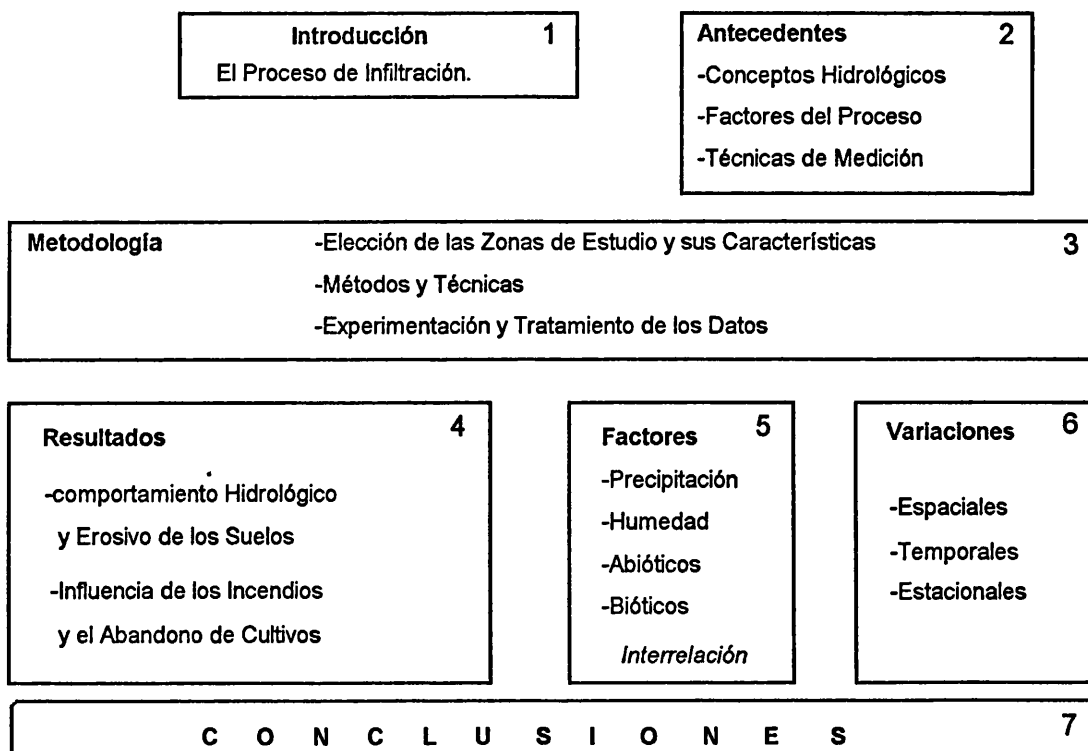


Figura 1.2. Estructura de la investigación. Cada uno de los bloques corresponde al capítulo indicado en el margen superior derecho

2. ANTECEDENTES

El estudio aquí presentado surge en base de distintas investigaciones previas, de las cuales cabe destacar su carácter hidrogeomorfológico, como se comprobara a lo largo de este capítulo. En las siguientes pagina se pretende hacer una revisión del estado de las cuestiones ("*state-of-the-art*") más relacionadas con la investigación presentada.

En primer lugar, junto a la revisión del proceso físico de infiltración (apartado 2.1), se hace espacial mención a la modelización de éste (apartado 2.2). A una escala muy diferente a la anterior, se realiza una revisión de los estudios sobre generación de escorrentía en cuencas o laderas, con el fin de aportar información sobre el estado de la cuestión, y conocer hasta que punto nuestra investigación puede facilitar en esta rama de la hidrología (apartado 2.3).

La importancia del agua en los ecosistemas mediterráneos es revisada desde un punto de vista hidrogeomorfológico (apartado 2.4), ya que la infiltración, como proceso hidrológico regulador del ciclo hidrológico controla los procesos geomórficos y consecuentemente las formas terrestres.

También se hace una amplia revisión de los factores del proceso de infiltración con un especial dedicación a dos procesos de gran relevancia en el ámbito mediterráneo: abandono de cultivos e incendios forestales (apartado 2.5).

Finalmente, y en cuanto a las técnicas de medición, revisamos los principales métodos, haciendo especial hincapié en los infiltrómetros de cilindro y simuladores de lluvia, con una especial referencia a la evolución histórica de estos y a las mejoras tecnológicas conseguidas (apartado 2.6).

2.1 Infiltración: el proceso

La comprensión del funcionamiento del proceso de infiltración pasa por saber que éste está regido tanto por fuerzas capilares como gravitacionales (HENDRICKX, 1990). Las primeras, dominan al principio del proceso las tasas de infiltración debido al fuerte gradiente mátrico generado por el bajo contenido en humedad del suelo (GISH y STARR, 1983), mientras que, con el paso del tiempo y la redistribución del agua en el perfil, nos encontramos con una preponderancia de las fuerzas gravitacionales (KNAPP, 1978). La conjugación de estas dos fuerzas da lugar a la rápida reducción de la tasa de infiltración en el tiempo, hasta alcanzar un valor mínimo constante (DUNNE y LEOPOLD, 1978; BURT *et al.*, 1990). Esta tendencia a la **reducción asintótica** de los valores de las tasas de infiltración es la característica definitoria del proceso (DUNIN, 1976), y ya en los primeros modelos empíricos (KOSTIAKOV, 1932; HORTON, 1933) y físicos (GREEN y AMPT, 1911; PHILIP, 1957b) se tuvo en cuenta.

Si bien esta característica es intrínseca del concepto de infiltración, hay que hacer referencia a ciertas excepciones debidas esencialmente a la existencia de suelos helados, hidrófobos (DEBANO, 1981; IMESON *et al.*, 1992), o encostrados (POESEN, 1986), en los que determinados procesos como el deshielo, la reducción de la repelencia y la erosión de la costra con la lluvia, favorecen el aumento de las tasas de infiltración.

La **reducción de la infiltración** con el tiempo se debe en general a tres procesos: hinchamiento de las arcillas, relleno de los poros por sedimentos y por agua, y sellamiento de la superficie del suelo (CHORLEY, 1969; STRAHLER, 1984). La saturación de los poros con el agua infiltrada es por lo general el más importante de ellos, ya que con la redistribución del agua en el perfil se elimina la atracción ejercida por éstos y el agua fluye a una tasa constante dominada por las fuerzas gravitacionales (KNAPP, 1978).

Especialmente, durante la infiltración, excepto unos milímetros superficiales, el suelo permanece con un potencial negativo de agua, es decir no está saturado, pudiéndose distinguir según el grado de humedctación tres zonas (BODMAN y COLMAN, 1944):

- *Zona de transmisión*: donde los cambios de humedad temporales y espaciales son lentos.
- *Zona de humectación*: caracterizada por variaciones espaciales y temporales muy importantes de la humedad del suelo.
- *Frente de humectación o mojante*: zona de contacto entre el agua nueva (infiltrada) y el agua vieja (almacenada). Este es un frente visible de penetración del agua debido al fuerte gradiente del contenido de humedad, aunque ésto depende de la humedad previa.

Esta subdivisión es arbitraria, y aunque algunos autores están de acuerdo con ella (VACHAUD *et al.*, 1973), otros han esquematizados el proceso de forma diferente (PHILIP; 1957c, HORTON y HAWKINS, 1965; CHILDS, 1967; KNAPP, 1978). La simplificación progresiva del proceso por parte de los docentes ha llevado a estructurarlo en dos zonas: frente de humectación y zona de transición (MARCO y REYES, 1986).

Temporalmente, en el proceso de infiltración de la lluvia se distinguen tres fases (RUBIN, 1966):

- *Sin encharcamiento*: cuando la conductividad hidráulica del suelo es mayor que la precipitación, por lo que un aumento de ésta favorecería el incremento de la humedad del suelo, y con ello la capacidad de infiltración.
- *Antes del encharcamiento*: cuando la saturación del suelo está cerca, pero la presión del agua en el suelo es todavía negativa. Un aumento de la precipitación superaría el umbral de la presión negativa y se produciría el encharcamiento. Esta fase umbral está dominada por la intensidad de la lluvia y por la cantidad de agua en el suelo (EMBLENTON y THORNES, 1979).
- *Después del encharcamiento*: con el cual se consigue un almacenamiento del agua en superficie y la saturación del suelo superficialmente. Con un aumento de la intensidad de la lluvia aumentaría el nivel del encharcamiento o bien se produciría escorrentía superficial.

La infiltración del agua, cuando se produce sin encharcamiento es denominada **flujo control** (DUNIN, 1976), y es la intensidad de la lluvia la que controla el proceso y sus tasas de actuación. Tras el encharcamiento se produce una caída asintótica de

la tasa de infiltración, que tiende a un valor estable o capacidad de infiltración final, la cual es entendida por muchos autores como similar a la conductividad hidráulica saturada (DUNNE y LEOPOLD, 1978).

La idiosincrasia del proceso de infiltración ha sido bien definida por las envolventes de infiltración introducidas por SMITH (1972). En ellas hay tres conceptos fundamentales:

- Para un suelo dado, el encharcamiento depende de la intensidad de la lluvia. Si aumenta la intensidad de la lluvia aumentará la tasa de infiltración.
- Para una intensidad dada, es el suelo -y sus características- el que controla el encharcamiento y la tasa de infiltración.
- La infiltración final estable debe estar determinada por la conductividad hidráulica saturada del suelo, y por lo tanto por sus características fisicoquímicas.

El que la penetración del agua en el suelo se produzca a través de los poros por medio de las fuerzas de gravedad (movimiento de dirección única) y capilaridad (varias direcciones), hace que el proceso de infiltración sea de una gran complejidad. A esto, hay que añadir que los dos componentes activos del proceso de infiltración: aire y agua, son inmiscibles (ALIM, 1986) y que el intercambio de ambos se produce normalmente en un medio poroso no saturado (BRUSTKERN y MOREL-SEYTOUX, 1985), haciendo que el proceso sea altamente no lineal (BRAS, 1990).

Hay que destacar entre los causantes de esta no linealidad, la distribución previa del agua en el perfil del suelo, la importancia del aire entrampado (ALIM, 1986) y la distribución de tamaños de los poros (BEVEN y GERMANN, 1982). Pero, además, el flujo de agua en los macroporos se produce según tres modelos posibles: con agua sola, con ascensión de aire y con formación de meandros (GERMANN, 1987), lo que hace que el proceso sea totalmente diferente a cuando se produce a través de la matriz del suelo (SMETTEM, 1987), favoreciendo que las tasas de infiltración y la variación espacial de éste sean mucho mayores (CLOTIER y WHITE, 1981). La gran cantidad de factores que controlan el proceso y las fuertes variaciones espaciales y temporales de éstos hace que la complejidad de la infiltración se considerada como una de sus características definitorias básicas.

En resumen, podemos decir que el flujo de agua en el suelo se caracteriza por la inexistencia de linealidad (BARNES, 1989), complicada a su vez por la confrontación de una fase líquida con otra gaseosa, las cuales dan lugar a la presencia de aire entrampado en profundidad (COLLINS-GEORGE y YATES, 1987; GRISMER, 1987; 1988). Además, el que el proceso se produzca en un medio poroso,

donde los macroporos controlan las tasas de infiltración (BEVEN, 1981, DAVIDSON, 1984; GRISMER, 1986; EDWARDS *et al.*, 1988), confirma el comportamiento no lineal del proceso, así como las fuertes variaciones espaciales (NIELSEN *et al.*, 1973), y temporales de éste (VAN DER BERG, 1989).

En este complejo sistema agua-suelo-aire, en general, el perfil del suelo es el controlador del proceso de infiltración (SPOSITO, 1986), por lo que la curva o curvas de infiltración, serían indicativas tanto de las tasas de absorción de agua por el suelo como de las variaciones temporales. Por ello, la forma adoptada por la curva de infiltración puede ser considerada como una característica física e hidrológica básica del suelo (SELBY, 1970).

A pesar de la importancia del perfil del suelo sobre la infiltrabilidad, las tasas de infiltración pueden estar determinadas estrictamente por las características superficiales (AHUJA *et al.*, 1988), afirmando algunos autores que son los primeros cinco centímetros del perfil los más importantes (FARREL y LARSON, 1972), donde las costras juegan un papel decisivo (MORIN *et al.*, 1989).

2.2 Modelización de la infiltración.

La modelización del proceso físico de infiltración del agua en el suelo se inició con los estudios de BUCKINGHAM (1907), el cual asentó las bases de la moderna teoría del flujo no saturado al asumir que el movimiento del agua en un medio poroso como el suelo puede ser descrito por la ley de DARCY, según la cual, el potencial capilar y la conductividad hidráulica son funciones del volumen de agua en el suelo (PHILIP, 1987). Por ello, con la reducción del contenido de agua en el suelo se produce un decaimiento de la conductividad hidráulica, ya que ésta es una función inversa de la presión capilar (MARCO y REYES, 1986).

La modelización de los flujos de agua en el suelo durante el proceso de la infiltración se ha basado en considerar éstos como unidimensionales, entendiendo que el agua funciona a presión atmosférica y que los flujos laterales son insignificantes. A pesar de todos estos problemas, RICHARDS (1931), a partir de la ley de Darcy y en combinación con ecuaciones de continuidad, derivó una expresión para el flujo de agua en términos de potencial capilar, suponiendo que el suelo fuera un medio inerte e isotrópico. El cálculo de la infiltración con esta ecuación es muy costoso tanto por el número de variables a conocer, como por la doble condición a calcular: antes y después del encharcamiento.

Previamente a la aparición de la ecuación de Richards surgió el modelo de GREEN y AMPT (1911), en el cual se suponía, que la infiltración se producía a modo

de pistón mediante un frente mojanete que no se deformaba y con un gradiente capilar que dependía de la saturación inicial del perfil. La ecuación desarrollada por GREEN y AMPT es:

$$i = K (H + P - F) / P \quad (1)$$

Donde: i = tasa de infiltración.
 K = conductividad hidráulica saturada.
 H = altura del agua en superficie.
 P = profundidad de la zona saturada.
 F = presión capilar del frente de mojado.

La gran cantidad de parámetros a conocer para la resolución de este modelo ha llevado a muchos autores a buscar simplificaciones (MEIN y LARSON, 1973; PONCE, 1989), los cuales han permitido su utilización para el ajuste de datos provenientes de mediciones directas con infiltrómetro de cilindro (ESEN, 1989) o con lluvia simulada (CHU, 1986; DeBOER *et al.*, 1988; JENNINGS *et al.*, 1988).

Esta ecuación presenta buenos ajustes en suelos arenosos, donde los tamaños de los poros se distribuyen dentro de un estrecho rango (KIRKBY, 1985), aunque algunos autores la desautorizan totalmente al no tener en cuenta el flujo en macroporos, el cual, en la actualidad es entendido como el dominador del proceso de infiltración (SEYFRED, 1991).

Otra modelo que ha sufrido importantes simplificaciones ha sido el de PHILIP (1957a):

$$ip = 1/2 St^{-1/2} + At \quad (2)$$

$$ip = St^{-1/2} + At \quad (3)$$

Donde: ip = infiltración acumulada
 ip = infiltración instantánea
 S = Sorptividad
 A = infiltración constante
 t = tiempo

Esta ecuación tiene más términos ($Bt^{3/2} + Ct^2 + \dots$), aunque normalmente sólo se utilizan los dos primeros (GISH y STARR, 1983). Algunos autores para tiempos cortos han demostrado que la forma simplificada $i = St^{1/2}$, similar a la ecuación de Lewis-Kostiakov, da ajustes de gran calidad (GHOSH, 1977).

Debido a los fundamentos de la ecuación, tanto S como A tienen una interpretación física. El parámetro S hace referencia a la capacidad de un suelo de absorber agua, y A a la posibilidad del suelo de transmitirla.

Con la simplificación de la ecuación ($i = A + B t^{1/2}$), también se han obtenido buenos resultados en el ajuste sobre datos de experimentos de campo en ambientes

semiáridos (BORK y ROHDENBURG, 1981; MORGAN, 1986). Esta ecuación se ajusta mejor a experimentos de corta duración en suelos uniformes (CARSON y KIRKBY, 1972; KIRKBY, 1985), y en ocasiones ha sido acusada de que sus parámetros no responden a una base física sino empírica, (GISH y STARR, 1983).

Los fundamentos físicos de la ecuación de PHILIP y los parámetros desarrollados a partir de ella han generado una gran cantidad de bibliografía. Sorptividad o "*Sorptivity*" (*S*) es un parámetro hidrológico básico física y teóricamente (CHAPMAN, 1975), y es directamente proporcional al déficit de humedad inicial del suelo y a la raíz cuadrada de la difusividad, explicando la influencia de las propiedades del suelo en la transmisión y retención del flujo y su reducción con el aumento de la humedad (FOK, 1985). También, se puede entender cómo el volumen de agua susceptible de ser retenido por un suelo a partir del flujo o retención capilar, es decir, la infiltración en un espacio sin gravedad, siendo por ello las características del suelo -esencialmente la estructura-, la humedad de éste y especialmente el tiempo, los factores que lo controlan (BOUWER, 1978). Según LAL (1989a; 1989b), el parámetro *S* explica perfectamente la infiltrabilidad de los suelos, y debe ser entendido como una característica física de éstos (JOHNSTON *et al.*, 1980).

La medición de la *S* se realiza a partir de formulaciones matemáticas en las cuales los parámetros físicos son muy importantes, pero también se puede estimar a partir de ecuaciones del tipo $A + Bx$ ajustadas a los datos de campo (CHONG y GREEN, 1983). Para estos casos se mide la pendiente de la curva de infiltración dibujada a partir de la infiltración acumulada respecto a la raíz cuadrada del tiempo (CHONG y GREEN, 1983; MORGAN, 1986) o bien a partir de la integral de la misma curva (SCOGING y THORNES, 1980). Otros autores obtienen la Sorptividad a partir de un desarrollo de la ecuación de Philip en la que el tiempo de encharcamiento es muy importante (KUTILEK, 1980):

$$S = (1 - A/R)(Atp/(1-(A/2R)))^{-1/2} \quad (4)$$

Donde: *R*: Intensidad de la lluvia
tp: Tiempo de encharcamiento
A: Segundo parámetro de la ecuación de Philip

Por otra parte, el parámetro *A* de la ecuación de Philip, ha sido relacionado con la tasa de infiltración final o conductividad hidráulica saturada (*Ks*) (CHILDS, 1969), aunque hay ciertas discrepancias. Algunos autores (THORNES y GILMAN, 1983; FRANCIS, 1986a) encuentran que ésta se sobrevalora si se identifica con la tasa final de infiltración, si bien otros autores piensan lo contrario debido a la existencia de aire atrapado en los poros del suelo, el cual reduce la tasa de infiltración (SLACK y LARSON, 1981). JOHNSTON *et al.*, (1980) entienden que *A* es 2/3 de la infiltración

mínima real del suelo, acusando a la ecuación de Philip de subestimar la infiltración final y no determinar el principio de la escorrentía. GHOSH y SASMAL (1983b) llegan a la conclusión de que A es $1/3$ de la K_s , que es variable y que, para que fuera constante en el tiempo, debería producirse el proceso en un medio homogéneo (GHOSH y SASMAL, 1983a).

Como hemos visto las ecuaciones de base física han tendido hacia una transformación empírica, campo en el que había modelos de gran calidad. La ecuación empírica más utilizada sin ninguna duda ha sido la de HORTON (1933):

$$f = fc + (fo - fc) e^{-\alpha t} \quad (5)$$

$$F = fct - (fo - fc) / \alpha (e^{-\alpha t} - 1) \quad (6)$$

Donde: f = infiltración instantánea
 F = infiltración acumulada
 fc = tasa de infiltración final constante.
 fo = tasa de infiltración inicial ($t = 0$).
 e = base de los logaritmos neperianos.
 α = contante empírica, tasa de decaimiento exponencial.

La equiparación de K_s y fc como tasa de infiltración final estable, es defendida por distintos autores (PHILIP, 1957; RUBIN y STEINHARDT, 1963; RUBIN *et al.*, 1964; FREEZE y CHERRY, 1979), y respaldada por la base empírica del modelo. La constante empírica " α " hace referencia al decaimiento exponencial de la tasa de infiltración con el tiempo, y se puede conocer con el ajuste de la ecuación a datos reales. BOUWER (1978) entendió que el único problema que presenta la ecuación de Horton es que es difícil encontrar un valor para fo , tasa de infiltración máxima ($t = 0$), debido a que tiende a infinito, o bien es un valor ficticio. Otros autores han calificado fo de irreal y excesivo, lo que les ha hecho dudar de la ecuación de Horton (BEUTNER *et al.*, 1940; NASSIF y WILSON, 1975).

El concepto Hortoniano de que la infiltración decrece asintóticamente con el tiempo debido a los cambios de la humedad del suelo, al impacto de las gotas de lluvia (compactación del suelo, destrucción de los agregados, formación de costras, etc.), desaparición de las grietas y saturación de los macroporos (HORTON, 1933, 1941, 1945), que tuvo su base empírica en parcelas experimentales (NEAL, 1938), y se ha convertido en un concepto universal parametrizado por α .

La ecuación de Horton fue precedida por otras fórmulas (GARDNER y WITSOE, 1921), y a la vez sentó las bases para el desarrollo de otros modelos, entre los cuales siempre la erodibilidad de los suelos y erosionabilidad de la lluvia tuvieron una destacada importancia (MORIN y BENYAMINI, 1977). Esta ecuación, a pesar de ser la más utilizada, incluso en la modelización de zonas urbanas (JACOBSEN, 1980), ha

sido criticada porque sus ajustes a datos reales necesitan tiempos largos de experimentación (KIRKBY, 1985).

Otra ecuación empírica, muy utilizada por su sencillez, es la de KOSTIAKOV (1932):

$$I = Bt^n \quad (7)$$

Donde: I = infiltración acumulada.
 t = tiempo desde el inicio de la infiltración.
 B y n = son constantes.

Algunos autores han sugerido que esta ecuación es sólo aplicable a experimentos de corta duración (CHILDS, 1969; NAETH *et al.*, 1991), ya que en ella no está modelizada la estabilización final (YOUNGS, 1991). Esta característica hace que la precisión de los resultados de la ecuación descienda con el tiempo.

LEWIS (1937) presentó una ecuación idéntica a la de Kostiakov, por lo que ésta también es conocida como ecuación de LEWIS-KOSTIAKOV.

Otro modelo empírico muy utilizado en la última década ha sido el desarrollado por SWARTZENDRUBER y HILLEL (1975), y utilizado en diversas investigaciones en España (SCOGING y THORNES, 1980):

$$i = B t^n + A \quad (8)$$

Donde: B y n = constantes.
 A = tasa de infiltración final o constante
 t = tiempo

Estos últimos autores, en sus trabajos en suelos semejantes a los tratados en esta investigación, utilizan las siguientes ecuaciones (SCOGING y THORNES, 1980),

$$i = a + b^{-t} \quad (9)$$

Donde: i = tasa de infiltración instantánea
 a = tasa de infiltración final constante
 b = tasa de decrecimiento del a infiltración con el tiempo
 t = tiempo

$$i = q t^z \quad (10)$$

Donde: i = tasa de infiltración instantánea
 q y z = constantes
 t = tiempo

las cuales dieron ajustes de gran calidad en diversas investigaciones realizadas en el sur de España (SCOGING y THORNES, 1980; FRANCIS 1986a; FRANCIS y THORNES, 1990). Esto, nos indujo a utilizar estos dos modelos junto a la ecuación de Horton, para realizar los ajuste a los datos obtenidos con los experimentos con

lluvia simulada y obtener los distintos parámetros necesarios para caracterizar la hidrología de los suelos.

Además de la ecuaciones aquí presentadas, en la literatura hay gran cantidad de trabajos, originales o modificaciones de éstos, en los que se presentan distintos modelos, tanto del proceso en general como de aspectos concretos de la infiltración (MORIN y BENYAMINI, 1977; CHU, 1978; PINGOUD, 1982; CHU, 1985; WELLS *et al.*, 1986; HOGART *et al.*, 1989).

En algunos casos las similitudes entre las ecuaciones son importantes, como ocurre entre Kostiaikov y Philip, hasta el punto que han sido clasificados como idénticas (GHOSH, 1985).

La ecuación de Philip y Horton se ha mostrado como la más fiable en diferentes estudios (DAVIDOFF y SELIM, 1986), aunque algunos autores opinen que Horton (BERNDTSSON, 1988) o Horton y Kostiaikov (HAVERKAMP *et al.*, 1988) son las que ofrecen los mejores ajustes.

En todas la ecuaciones se entiende que cuando $t \rightarrow \infty, i \rightarrow 0$ o bien a un valor constante equivalente a I_c o K_s . Este último concepto de estabilidad es teórico, ya que para ello la infiltración se debería producir en una dimensión, en un suelo homogéneo, que el aire entrampado no afectase al proceso y que no se produjeran cambios físicos, químicos o biológicos durante la medición (GHOSH, 1982).

Además de las ecuaciones de infiltración, también hay métodos en los que se modeliza la infiltración a partir de curvas de escurrientías tipo, como es el de el "Curve Number Runoff" de la USDA-SCS, los cuales están plenamente relacionadas con las características de los suelos (CHONG y TENG, 1986; SCHROEDER, 1987; BOUGHTON, 1989).

2.3 Modelos de producción de escurrientía.

El comportamiento hidrológico de las laderas durante las tormentas es un dinámico y complejo sistema, en el cual diferentes factores y procesos juegan un papel esencial. Por lo que respecta a la infiltración, ésta determina los volúmenes de agua disponible para el flujo superficial y subsuperficial (SHAW, 1988; BRAS, 1990; RÖMKEMS *et al.*, 1990), y por ello controla los mecanismos generadores de escurrientía en las cuencas de drenaje (BERDNTSSON y LARSON, 1987; CHURCH y WOO, 1990), tanto en volúmenes como en intensidad (KIRKBY, 1988). En definitiva, la infiltración funciona como el proceso "llave" en los mecanismos de generación de escurrientía, si bien está determinada por el caudal que debe gestionar: la lluvia (ANDERSON y ROGERS, 1987).

Si durante una tormenta la capacidad de infiltración es superada por la precipitación el caudal de la cuenca se producirá a partir de los **mecanismos Hortonianos de generación de escorrentía** (HORTON, 1933, 1945). En este modelo, se asume la idea de que los hidrogramas están sólo compuestos por los volúmenes de agua procedente de la escorrentía superficial y que la altura de escorrentía generada en las laderas aumenta vertiente abajo.

La concepción del modelo de producción de escorrentía Hortoniano se asoció rápidamente al hidrograma unitario de SHERMAN (1932), y ha sido acusado de satisfacer las necesidades ingenieriles en los cálculos para la construcción de obras de infraestructura y de exagerar por ello las escorrentías directas (BERNIER, 1985). Otros autores entienden que el modelo de Horton nació con una vocación geomorfológica, ya que intenta explicar las formas terrestres a partir de la erosión superficial (DURGIN, 1984), manteniéndose estos conceptos en la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (WHISCHMEIER y SMITH, 1965).

Durante los años 50 y 60 aparecieron varias razones para negar el concepto Hortoniano de escorrentía en ambientes templados o húmedos. La primera de ellas fue , que en un elevado porcentaje de lluvias, la precipitación era retenida en su totalidad por la vegetación (PIÑOL *et al.*, 1991), y la segunda, que los suelos eran lo suficientemente permeables para no superarse nunca su capacidad de infiltración (BETSON, 1964; HEWLETT y HIBBERT, 1967; KIRKBY, 1969; DUNNE y BLACK, 1970; FREEZE, 1972). El modelo Hortoniano sólo era admitido para suelos helados, impermeabilizados por la acción antrópica o bien para ambientes áridos o semiáridos por su reducida cubierta vegetal (PETTS y FOSTER, 1985).

A partir de este momento, el problema surgía con la explicación de la respuesta rápida a las tormentas sin basarse en los mecanismos de generación de escorrentía Hortonianos (HARR, 1977; ANDERSON y BURT, 1978; ANDERSON y KNEALE, 1980). Algunos autores durante los años 30 ya habían observado como el **flujo subsuperficial** era capaz de generar escorrentía rápida a los cauces, aunque ésto había quedado en una mera observación, sin la creación de un modelo que le diese validez (HURSCH, 1936; HURSCH y BRATER, 1941). Este proceso puede ser debido a la reducción de la conductividad hidráulica en profundidad por acumulación de arcillas o aumento de la densidad de los horizontes inferiores (ANDERSON y BURT, 1978), o bien a la subida del nivel del acuífero (SKLASH y FARVOLDEN, 1979; ABDUL y GILLHAM, 1984; HELIOTIS y DeWITT, 1987; KAYANE y KOIHOTSU, 1988; ABDUL y GILLHAM, 1989), lo cual en ambos casos favorecería un flujo saturado subsuperficial ladera abajo (WHIPKEY, 1965; GILLHAM, 1984), especialmente en cuencas de elevada pendiente (HARR, 1977). La importancia de la topografía en el

proceso de generación de escorrentía superficial ha sido tratado por varios autores (SPEIGHT, 1980; ANDERSON y BURT, 1980)

El flujo subsuperficial se ve favorecido por la existencia de suelos con una alta capacidad de infiltración, sin duda fruto de cubiertas vegetales estables, texturas groseras, abundancia de macroporos y una buena agregación, como ocurre en los suelos de las zonas templadas (DUNNE y LEOPOLD, 1978; KIRKBY, 1988). La importancia de este camino del agua ha aumentado conforme se iban desarrollando las investigaciones, demostrándose además el reducido conocimiento que de él tenemos (MICHIELS *et al.*, 1989). La contribución al flujo de base por la escorrentía subsuperficial está en gran parte controlada por el flujo en macroporos (BERNIER, 1985; LUXMOORE *et al.*, 1990; NIEIBER y WARNER, 1991) y *pipes* (DIXON, 1971; DUNNE *et al.*, 1975; DUNNE, 1978; JONES, 1987; GILMAN y NEWSON, 1980; JONES *et al.*, 1991; CAMERAAT, 1992), en cuyo interior, el agua puede fluir en mayor cantidad y velocidad que en el interior de la matriz del suelo (JONES, 1981; GERMANN y BEVEN, 1986) e incluso más rápidamente que en superficie (BONELL *et al.*, 1984).

Actualmente el flujo subsuperficial explica la generación de escorrentía en multitud de paisajes (WILSON *et al.*, 1990), siendo el flujo preferente en macroporos uno de los mecanismos a destacar (PEARCE *et al.*, 1986; SKLASH *et al.*, 1986; STEEMHUIS *et al.*, 1988; CAMERAAT, 1992), lo que ha favorecido el desarrollo de su modelización (STEEMHUIS *et al.*, 1988).

En las zonas cóncavas el flujo tiende a concentrarse en las partes bajas debido a la geometría del acuífero (DUNNE y BLACK, 1970), la morfología superficial de las capas de menor conductividad hidráulica (ANDERSON y BURT, 1978), o bien a la topografía de la cuenca o a los patrones previos de humedad del suelo (ANDERSON y KNEALE, 1980; 1982). La importancia de la geometría de las superficies ha llevado a la realización de modelos matemáticos del control que ésta ejercen sobre la generación de la escorrentía (PHILIP, 1991a; PHILIP, 1991b; PHILIP, 1991c), demostrándose la influencia de la morfología en la infiltración desde una visión abstracta. El flujo subsuperficial no sólo se produce en cuencas con baja densidades de drenaje, suelos estables y poco alterados; sino que también se han detectado en cuencas de orden uno (GBUREK, 1990; McDONELL *et al.*, 1991) así como en suelos cultivados (KWAAD, 1991), cuencas urbanas (DISKIN y GREEN, 1985), e incluso en laderas a escala de parcela (MULDER, 1988).

Durante las tormentas, si el nivel del acuífero alcanza la base de las laderas (OHTA, 1987), o bien existen capas saturadas debido a su menor permeabilidad (HENDRIKS y IMESON, 1984), se crea una zona saturada que puede generar

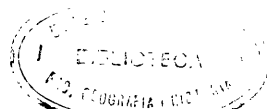
escorrentía, tanto por la lluvia caída directamente sobre ella, como por la exfiltración del agua o por el flujo de retorno (KIRKBY, 1988). Para esto, son necesarias lluvias de larga duración y suelos con una capacidad de infiltración superior a la precipitación (PETTS y FOSTER, 1985), como la existentes principalmente en climas templados (IMESON y DUYSINGS, 1984)

Estos conceptos fundamentan y ratifican el **modelo de contribución de área variable** ("*Variable Source Area Model*") surgido en los años 60 (HEWLETT, 1961), el cual explica la producción de escorrentía en áreas donde la lluvia no supera la capacidad de infiltración (ZASLAVSKY, 1970; BURT, 1986). El flujo subsuperficial es el mecanismo más importante en la generación de escorrentía (ANDERSON y BURT, 1978), junto a conceptos como escorrentía por exceso de saturación (DUNNE y BLACK, 1970; DUNNE, 1978), ambos contrapuestos al concepto Hortoniano de escorrentía por exceso de infiltración (HORTON, 1933). Estos mecanismos generadores de escorrentía se han identificado tanto para paisajes naturales (RAGAN, 1967; WEYMAN, 1970; ANDERSON y BURT, 1977a; 1977b; HARR, 1977; ANDERSON y KNEALE, 1980) como para espacios cultivados (SHARMA *et al.*, 1987a; 1987b; KWAAD, 1991).

La escorrentía, en el modelo de contribución de área variable, se produce por flujo subsuperficial, en el cual el agua precipitada alcanza el canal, generalmente vía macroporos, o bien por traslocación del agua "vieja" por el agua precipitada, vía matriz del suelo (BURT, 1985; 1987; 1989; PEARCE, 1990).

También en los años 60 surgió otro modelo, el de **área parcial** ("*Parcial Source Area Model*") (BETSON, 1964), en el que la escorrentía se producía por el mecanismo Hortoniano de superación de la capacidad de infiltración por la precipitación, pero en el que desaparecía la simplicidad del modelo de Horton. El origen de la escorrentía puede estar en la saturación de las partes bajas de la ladera por flujo subsuperficial (HEWLETT y HIBBERT, 1967; BOUGHTON, 1987), con lo que el mecanismo sería semejante al modelo de contribución de área variable, o bien puede estar en la parte alta de la cuenca donde por cuestiones naturales o antrópicas la capacidad de infiltración es menor (YAIR, 1990).

Algunos autores han tendido a confundir el modelo de área parcial, con el modelo de área variable; ya que éstos son coincidentes tanto en algunos conceptos, como en la geografía de las zonas de producción de escorrentía en las climas templados. Esencialmente el problema surgió con la continua sustitución, por parte de algunos autores, de la palabra "*variable*" por "*parcial*", sin tener en cuenta los matices que las diferencia (HARR, 1974).



Los estudios de modelos de producción de escorrentía a partir de los años 70 tienden a explicar la forma de producirse ésta en paisajes específicos (CERVERA, 1987). En los paisajes templados, los conocimientos sobre los procesos hidrológicos actuantes son elevados y se mantienen discusiones entre si el flujo subsuperficial tan sólo es capaz de recargar la humedad del suelo, pero no de contribuir a la escorrentía directa por su lentitud, entre 100 y 500 veces menor que la escorrentía superficial (DUNNE y BLACK, 1970). Cuando el flujo subsuperficial es rápido, especialmente a través de los macroporos, éste sí sería capaz de contribuir a la escorrentía directa (WHIPKEY, 1965). Por lo tanto, parece evidente que los dos modelos son factibles (FREZZE, 1972), teniendo especial importancia la distribución espacial de la humedad del suelo (ANDERSON y BURT, 1977a; 1977b) y la topografía de la cuenca (ZALAVSKY y DOGOWSKY, 1969), además de las características de la precipitación y de los suelos.

En las zonas áridas y semiáridas, el conocimiento de los procesos y mecanismos de generación de escorrentía es menor. En estos ambientes, aunque se entendió en un principio que el flujo Hortoniano existía (EVENARY *et al.*, 1971), parece ser que no ha sido observado (WARD, 1975; SHICK, 1977). En general hay que hablar de la falta de demostración de la existencia o no del modelo de generación de escorrentía Hortoniano por la falta de datos de campo (BURT, 1989). A pesar de los cual, está claro que el flujo subsuperficial y subterráneo es poco importante en comparación con los paisajes templados (YAIR, 1983; SHICK, 1988; YAIR y DANIN, 1980) siendo por ello la respuesta de los ríos rápida y efímera (SHICK, 1970; 1977) o bien intermitente (MATEU, 1982). En general, se piensa que en los ambientes templados es la humedad edáfica el factor controlador de los procesos (ANDERSON y KNEALE; 1980), mientras que en los ambientes áridos y semiáridos son las características físicas de los suelos y las precipitaciones (SHICK, 1988), junto a las fuertes variaciones espaciales de la capacidad de infiltración (SHARMA *et al.*, 1980; BRYAN, 1974) los factores que controlan la generación de la escorrentía (SCOGING, 1982; YAIR y LAVEE, 1985).

Desde los años ochenta, se entiende que el modelo de producción de escorrentía Hortoniano no es el único de los que se produce en los ambientes árido y semiáridos, ya que en ellos se puede producir también el modelo de área parcial (SCOGING, 1982a; YAIR y LAVEE, 1985). A diferencia de las zonas templadas, la mayor variabilidad de la infiltrabilidad de los suelos en ambientes semiáridos controla la distribución espacial de las superficies productoras de escorrentía (YAIR, 1991). Así, en áreas semiáridas, es normal encontrar escorrentía superficial en las partes altas de las laderas debido a la existencia de rocosidad (YAIR y LAVEE, 1990), costras superficiales: físicas (MORIN y BENYAMINI, 1977; YAIR y LAVEE, 1985),

biológicas (ALEXANDER y CALVO, 1990), o químicas (IMESON *et al.*, 1982; YAIR, 1990), lo que sólo sucede en los climas templados en las zonas saturadas de las partes bajas de las laderas. También los patrones espaciales de la infiltración pueden estar determinados por la fauna del suelo y con ello crear zonas de mayor infiltrabilidad (YAIR, 1991; BOUMA *et al.*, 1982; EDWARDS *et al.*, 1988), que pueden absorber la escorrentía generada en las partes bajas de las laderas

Incluso en las áreas más degradadas, entre las que destacan las superficies de *badlands* (BRYAN y YAIR, 1982), se ha entendido que las fuertes variaciones de la capacidad de infiltración debido a la influencia de los diferentes materiales (HODGES y BRYAN, 1982) invalidan el modelo Hortoniano, para darle mayor importancia a los conceptos dependientes del modelo de área parcial (SCOGING, 1982), prestándose cada vez más atención al flujo en "*pipes*" o tubificaciones (JONES, 1981; HARVEY, 1982). Además cada vez se tienen mayores evidencias de la existencias de flujos subsuperficiales (LAVEE *et al.*, 1989).

En áreas tropicales forestales la generación de escorrentía Hortoniana es inexistente, aunque hay mecanismos que puntualmente la pueden provocar. HERWITZ (1986), encontró que en la base de los grandes árboles hay morfologías erosivas (raíces exhumadas), como consecuencia de la escorrentía cortical ("*stemflow*"). Sólo en estos puntos se genera escorrentía Hortoniana, la cual normalmente no llega a formar un flujo continuo, debido a las pérdidas por transmisión (HERWITZ, 1988).

La existencia de suelos ricos en arcillas expandibles y, por ello, con abundantes grietas ha hecho aparecer un modelo Hortoniano de escorrentía retrasada (BERGSMA, 1983), el cual puede definir los mecanismos generadores de escorrentía en suelos donde existan variaciones temporales muy fuertes en el contenido de humedad y donde los agrietamientos sean importantes (De LIMA, 1989).

En general, la investigación de los modelos de producción de escorrentía se ha dirigido en los últimos años hacia el estudio de los mecanismos de generación de escorrentía (ANDERSON y BURT, 1990a), en los cuales se tiene en cuenta aspectos muy concretos del comportamiento de los suelos ante la lluvia (IMESON y VERSTRATEN, 1986; IMESON y KWAAD, 1990), en áreas muy específicas (BRYAN *et al.*, 1984; YAIR, 1990) y en climas concretos (YAIR y LAVEE, 1981), aunque siempre con una visión globalizadora de todos los procesos hidrológicos (ANDERSON y BURT, 1985a; 1985b).

2.4. Procesos geomorfológicos e hidrológicos en los ecosistemas mediterráneos

Como hemos visto, la variación espacial de la infiltración y los procesos de transmisión de agua en el suelo son la clave en la explicación del modelo de producción de escorrentía en las cuencas de drenaje. Este control de la hidrología de la superficie terrestre por el proceso de infiltración supone además una determinación de los procesos geomorfológicos fluviales a distintas escalas: suelos, laderas y cuencas de drenaje (GREGORY, 1979; BURT, 1986).

En general, el control ejercido por la infiltración sobre la hidrología de las laderas se refleja en un importante papel geomorfológico, debido a que el agua infiltrada, mediante el flujo subsuperficial y el agua percolada hacia el acuífero, producen la disolución de gran cantidad de materiales, lo que se refleja en morfologías como el Karst en las calizas (SWEETING, 1972; JENNINGS, 1985; TRUDGILL, 1985), o bien en la aparición de tubificaciones en litologías blandas (JONES, 1981; HARVEY, 1982; LOPEZ-BERMUDEZ y TORCAL-SAINZ, 1986; BENITO y GUTIERREZ, 1988). Además, el flujo subsuperficial ha sido visto como el controlador de la geomorfología de zonas montañosas, tanto por el control de la escorrentía superficial (DUNNE, 1990), como por los procesos de disolución y subfusión (DURGIN *et al.*, 1984).

El interés geomorfológico de la infiltración reside además en que la magnitud, frecuencia y características espaciales de este proceso controlan el principal agente geomorfológico: la arroyada superficial (DUNNE y LEOPOLD, 1978). En un primer estadio, la lluvia erosiona el suelo por el impacto de las gotas de lluvia, siendo la intensidad de la erosión dependiente de la energía cinética de la lluvia (KINELL, 1985; 1990), así como de la estabilidad de los agregados del suelo (GLANVILLE y SMITH, 1988). Tras el encharcamiento, dependiente de la infiltrabilidad del suelo, la erosionabilidad de la lluvia aumentará hasta que la columna de agua sea igual al tamaño de las gotas, momento en el que el "splash" o salpicadura alcanza sus mayores tasas de movilización de sedimentos (YOON y WENZEL, 1971; SAVAT, 1981; GILLEY y FINKNER, 1984).

Un segundo estadio se produce cuando el agua no infiltrada se moviliza, generando una arroyada capaz de arrastrar sedimentos en la zona de interrill (MEYER y HARMON, 1984), incrementando su capacidad de transporte cuando la escorrentía se concentra en "rills" (rigolas o regueros) o en cárcavas (POESEN, 1987; POESEN y TORRI, 1989).

Además de gestionar el volumen de agua susceptible de ser encharcada y movilizada, la infiltración determina las zonas donde la escorrentía es absorbida por

los suelos, y por ello donde se depositan los materiales, proceso muy importante en áreas semiáridas (YAIR y LAVEE, 1985).

El control ejercido por la infiltración es tal que el cambio en la tasa de actuación de ésta puede desencadenar procesos geomorfológicos totalmente diferentes en una cuenca, y con ello dar lugar a paisajes muy distintos (EVANS, 1980). En este aspecto, tienen importancia tanto las tasas generales de actuación del proceso, como sus variaciones espaciales y temporales (THORNES, 1980a; 1980b; THORN, 1982).

La importancia del agua en los ecosistemas mediterráneos puede ser vista desde varias ópticas. Las dos más importantes están claramente contrapuestas, ya que una entiende el agua como un recurso escaso e imprescindible (CABRERA y SAHUQUILLO, 1989) y la otra como un peligro debido a los daños producidos por las avenidas, las cuales en algunas ocasiones acaban en inundaciones (MARCO, 1989; MATEU, 1990).

El agua, como el suelo y otros recursos naturales sobre los que se sustentan los ecosistemas, son las bases esenciales de la vida en nuestro planeta y con ello de la supervivencia humana (FOK, 1987). El agua es esencial en la planificación socioeconómica de un mundo desarrollado, pero es imprescindible en áreas donde es escasa y su distribución es mala (BERNDTSSON, 1988). En las zonas de clima mediterráneo, debido a la irregularidad de las precipitaciones y a la coincidencia del periodo árido con la estación cálida, el recurso agua se encuentra en un delicado equilibrio con el medio, lo que hace que cualquier alteración de éste modifique todos los procesos y reservorios hidrológicos. En estos espacios, el control del agua de los suelos por la infiltración determina los niveles de vida sustentable por los ecosistemas (MOONEY y KUMMEROW, 1981), controlando a su vez el nivel de protección del suelo por medio de la vegetación (THORNES, 1988).

La alteración de la infiltración en estos ambientes, como consecuencia de impactos antrópicos directos o indirectos, hace que todo el ciclo hidrológico y los ecosistemas sufran alteraciones en su funcionamiento. Además de los efectos en los ecosistemas naturales o semi-naturales, las alteraciones de la infiltración pueden determinar la vida de toda sociedad (DUNNE y LEOPOLD, 1978), tanto por el control de los flujos directos, como por el control del agua percolada hasta los acuíferos, dependientes de las tasas de infiltración.

En todos los ecosistemas la importancia del suelo en el medio no sólo se debe a su capacidad de mantener ciertas formas de vida, tanto animal como vegetal, que son el elemento clave de la estabilidad de los ecosistemas y del paisaje, sino también de mantener el agua, recurso indispensable para la vida.

Las características hidrológicas del territorio estudiado han hecho que proliferasen estudios sobre las reservas de agua, tanto en sentido hidrogeológico (SAHUQUILLO, 1989), como en la gestión de este recurso en superficie (SANTAFE, 1989). Los estudios han sido llevados a cabo desde diferentes ópticas: producción agrícola (CAVALLER y GUADALAJARA, 1989; MONTALVO, 1989), consumo industrial y urbano (SANCHIS, 1989; CHOLVI, 1989; MARTINEZ, 1989), calidad de las aguas (CATALAN, 1989; SANCHIS PASTOR, 1989), etc. También la visión catastrófica tiene diferentes connotaciones, ya que la falta de agua favorece la desertificación (RUBIO, 1989), y el exceso puede provocar de forma puntual inundaciones (MARCO, 1989).

A pesar de la preocupación social y la importancia del proceso de infiltración dentro del ciclo hidrológico, no ha habido ningún estudio monográfico de gran magnitud sobre la infiltración, lo cual sin duda tan sólo es explicable por los problemas metodológicos que suscita su medición.

2.5 Controles de la infiltración: factores

La infiltración, como hemos visto, además de regir directamente la hidrología del sistema suelo, y con ello la hidrología de la cuenca de drenaje, controla indirectamente los procesos geomorfológicos en las laderas. Al mismo tiempo, el proceso de infiltración, se caracteriza por la complejidad surgida de la multitud de factores, que a su vez influyen en él. Así, la infiltración varía temporal y espacialmente por razones asociadas esencialmente a las propiedades de los suelos, la influencia cultural del hombre, la flora y la fauna y sus actividades, así como los gradientes hidráulicos del agua subsuperficial (AMERMAN, 1983), pero los factores individuales son muchos.

Hemos realizado una clasificación de los factores de la infiltración en cuatro grupos según sus orígenes: edáficos, climáticos, geomorfológicos o culturales. Finalmente se ha dedicado una especial atención a dos factores: incendios forestales y abandono de cultivos, los cuales en la actualidad son las principales alteraciones ecológicas de las áreas de montaña del País Valenciano, y del mediterráneo en general (RUBIO, 1987).

2.5.1. Factores edáficos

Es obvio que las características del medio donde se va a producir la infiltración, el suelo, condicione ésta. Dentro del ecosistema edáfico, podemos diferenciar por una parte los factores dependientes de los seres vivos que habitan el suelo,

biológicos, y por otra la influencia de la litología sobre la que se produce el desarrollo edáfico, litológicos.

2.5.1.1. Biológicos

La vegetación ha sido considerada desde los primeros estudios como un factor protector del suelo y favorecedor de su capacidad de infiltración (MEEWING, 1969; MUNN *et al.*, 1973; BERNDTSSON *et al.*, 1985a; HOFMANN y RIES, 1991; SEYFRED, 1991; SIMANTON *et al.*, 1991). La cubierta vegetal juega un papel primordial debido a la protección que ejerce con la reducción de la energía cinética de la lluvia (SAVABI y GIFFORD, 1989), y al efecto mejorante del suelo con la incorporación de materia orgánica y el aumento de la estabilidad estructural consiguiente (IMESON, 1974; THORNES, 1985; STOCKING, 1988). Además, el sistema radicular mantiene el suelo estabilizado, le da cierta estructura y crea espacios de flujo más rápido y macroporos que favorecen la infiltración (HINO *et al.*, 1987; HASEGAWA y SATO, 1987).

Además de la protección física, que ejerce el porte aéreo, la vegetación permite que el flujo de agua en el suelo sea especialmente discontinuo, favoreciendo el intercambio agua-aire en los poros, con lo que el proceso de infiltración se ve favorecido por la eliminación del efecto del aire atrapado (COLLINS-GEORGE y YATES, 1987), tan negativo para el paso del agua al interior del suelo (CISLEROVA, 1988).

La relación de la vegetación con la infiltración ha sido descrita como positiva (WOO y LUK, 1990) y exponencial para diversos paisajes (ELWELL y STOCKING, 1976; LEE y SKOGERBOE, 1985). La misma relación ha sido encontrada para los ambientes semiáridos de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica sobre diferentes cubiertas vegetales de matorral (FRANCIS y THORNES, 1990b). A pesar de esto, algunos autores no han encontrado relaciones significativas en áreas semiáridas, tal vez por que la vegetación semiárida influye muy poco en la hidrología del suelo (BOLTON *et al.*, 1990).

En general, la vegetación hace que las cubiertas forestales tengan altas capacidades de infiltración (BROWN *et al.*, 1972; LEITCH y FLINN, 1986; PRICHETT, 1986; BERNAD *et al.*, 1988), aunque existen diferencias importantes dependiendo del tipo de bosque (DIAZ-FIERROS *et al.*, 1982). Las áreas con densas cubiertas de *herbáceas* también se caracterizan como los bosques por tener coeficientes de escorrentía bajos (DUNIN, 1987).

Esta relación positiva de la vegetación en algunas ocasiones se ve invertida por la generación de **sustancias hidrófobas** por las mismas plantas (McGHIE y POSNER, 1981; GIOVANNINI y LUCCHESI, 1984; BURCH *et al.*, 1989; SENVIK *et al.*, 1989; IMESON, *et al.*, 1992) o bien por la existencia de costras biológicas, que reducen la penetración del agua en el suelo (ALEXANDER y CALVO, 1990; YAIR, 1990). Relaciones poco significativas o negativas se han encontrado en cubiertas superiores al 20% (KINCAID *et al.*, 1968), o bien cuando los suelos estudiados están dentro de un rango de alta capacidad de infiltración y cubierta vegetal (MARSTON, 1982). La distinción de umbrales en la relación entre la vegetación y los procesos hidrogeomorfológicos ha sido muy frecuente (IMESON, 1983).

Muy relacionada con la vegetación está la **actividad biológica**, la cual aumenta la materia orgánica del suelo, la porosidad, estabilidad de la agregación y el volumen de macroporos, factores todos ellos que favorecen el aumento de la capacidad de infiltración de los suelos (SHERMAN y MUSGRAVE, 1964). EDWARDS *et al.*, (1990), a partir de técnicas muy innovadoras, demuestran que las lombrices son un agente de gran actividad en la mejora del suelo, especialmente a partir de conductos que oxigenan el suelo y aumentan las entradas de agua, ratificando las ideas iniciales de BOUMA *et al.*, (1982). Otros animales también se han mostrado como muy favorecedores de la mejora de la infiltrabilidad de los suelos (HAZELHAFF *et al.*, 1981; YAIR *et al.*, 1980b; BONELL y WILLIAMS, 1986; WILLIAMS y BONELL, 1988).

La hojarasca o mantillo, protege el suelo de la erosionabilidad de la lluvia y además crea un microambiente que favorece el desarrollo de múltiples formas de vida. La hojarasca es un tapiz natural que se encuentra en disposición de ser mineralizado por lo que está en plena armonía con el suelo. En diversas investigaciones ha sido relacionada con suelos estables y con altas tasas de infiltración, si bien también favorece la hidrofobia por las sustancias que genera (SENVIK, 1988; CROCKFORD *et al.*, 1991), especialmente en periodos secos.

El uso de **residuos** en superficies degradadas o cultivadas se hace con el fin de sustituir el mantillo natural y con ello aumentar la infiltrabilidad (ADAMS, 1966; MANNERING *et al.*, 1966; FREEBAIRN y BOUGHTON, 1985; ALBADALEJO y DIAZ, 1990; MCGREGOR, 1990). Esto se ha puesto en evidencia con el aumento de los estudios sobre laboreo mínimo (McISAAC *et al.*, 1991; GONZALEZ *et al.*, 1992) y uso de residuos como protectores de la erosión de los suelos (EDWARDS y BURNEY *et al.*, 1987; STEICHEN *et al.*, 1987; STEICHEN *et al.*, 1987). También la combinación de diferentes tipos de abonados y cultivos ha demostrado su gran importancia en el control de la infiltración (ROTH y PAVAN, 1991). En general, el efecto de los residuos

se basa en la protección del suelo sobre el impacto de las gotas y en la reducción del sellamiento (MORIN *et al.*, 1989; SEGNER y MORIN, 1970).

Este efecto positivo de los residuos han hecho que se hayan utilizado para la reducción de las escorrentías de zonas reconstruidas (MEYER *et al.*, 1971) y muchos autores entienden que los residuos son los que controlan los procesos de infiltración y erosión por encima del tipo de cultivo o manejo del suelo (STEICHEN, 1984; ZUZEL *et al.*, 1990).

2.5.1.2. Litológicos

La litología es un factor de primer orden, ya que determina las características fisicoquímicas de los suelos. En los suelos degradados, al estar desprotegidos de vegetación, tener bajos contenidos en materia orgánica y una reducida agregación, las tasas de infiltración están aún más determinadas por la litología (JORGENSEN y GARDNER, 1987). En general, textura, estructura y contenido en sales son propiedades edáficas que dependen del origen geológico de los materiales, de ahí la influencia de la litología sobre la capacidad de infiltración (BERNDTSSON *et al.*, 1985a) y la erodibilidad (SANROQUE *et al.*, 1991) de los suelos. Por supuesto, el tipo de suelo, junto a las características que lo identifican son factores esenciales en la determinación de la infiltración (TAKAR *et al.*, 1990), como lo son todos los componentes edáficos (SHAINBERG *et al.*, 1981; 1987)

La **textura** es tal vez la característica más importante en la determinación de la infiltrabilidad, ya que de ella dependen el volumen y tamaño de los poros del suelo. Cuando más grosera es la textura, mayor es la facilidad para la transmisión del agua en el perfil y por ello mayores son las tasas de infiltración (DUNNE y DIETRICH, 1980a; LUK *et al.*, 1986; ROMERO-DIAZ, 1986; ABRAHAMS *et al.*, 1988; LAUREN *et al.*, 1988;).

A pesar de ésto, las arenas tiene en su contra que cuando aparecen desnudas tienen gran facilidad de encostrarse y erosionarse (POESEN, 1985; 1988), propiedades negativas con respecto a la infiltrabilidad de los suelos (MORIN *et al.*, 1981; 1989), lo que ha dado lugar a encontrar relaciones poco claras entre contenidos en arena y infiltrabilidad de los suelos (WILCOCK y ESSERY, 1984).

Las **arcillas** presentan dos características totalmente negativas para la infiltración: hinchamiento (DUNNE y DIETRICH, 1980a) y dispersión (LEVY *et al.*, 1988). Además de esto, las arcillas por su forma escamosa tienden a favorecer los flujos horizontales sobre los verticales (BASAK, 1972). Por otra parte las arcillas pueden dar lugar a una buena agregación y estructura, la cual facilitará la

penetración del agua por la formación de macroporos (IMESON, 1986; SMETTEM, 1987; HABIB *et al.*, 1988; SILLIMAN y WRIGHT, 1988),

Los limos, ni disponen de facilidad para la agregación, ni sus tamaños son lo suficientemente grandes para originar poros de tamaño importante. Ésto, junto a su tendencia al encostramiento y la desagregación no los hace los mejores aliados de la infiltración. En suelos limosos de gran homogeneidad textural, puede producirse un desarrollo muy importante de las tubificaciones, las cuales podrían favorecer flujos subsuperficiales (JONES, 1981).

La estructura del suelo juega también un papel decisivo, ya que una buena agregación favorece la creación de gran cantidad de espacios libres por donde el agua puede fluir (MANNERING *et al.*, 1966; DUNNE y DIETRICH, 1980a). En general las arcillas facilitan la agregación, especialmente cuando coinciden con sustancias como la materia orgánica (IMESON y VIS, 1982), lo que favorecería la formación de suelos muy estables (IMESON y JUNGRIUS, 1976). Algunos autores han encontrado más importante la influencia de la estructura que de la textura (MUNN *et al.*, 1973), como lo demuestra que la mejora de ésta da lugar a menores tasas de escorrentía y erosión (COLLINS-GEORGE y GREENE, 1979; PROVE *et al.*, 1990)

La compactación del suelo produce una reducción de la infiltración, como consecuencia de la pérdida de espacio poroso (ZUZEL *et al.*, 1990). Este factor ha sido más estudiado en suelos cultivados (FULLEN, 1985a), donde es más frecuente debido al tráfico rodado en los campos (MEEK *et al.*, 1989) y al laboreo mínimo, el cual a pesar de favorecer menores tasas de erosión puede dar lugar en algunos cultivos a pérdidas importantes de agua (STEICHEN, 1984a).

El encostramiento, entendido como la formación de una película continua de partículas del suelo sin una agregación definida entre ellas (FARRES, 1978), es en opinión de muchos investigadores, el controlador de la infiltrabilidad y erosión de los suelos (DUNNE y DIETRICH, 1980a; DE PLOEY y POESEN, 1985; MOORE y SINGER, 1990), especialmente en áreas áridas y semiáridas (MORIN *et al.*, 1981; AGASSI *et al.*, 1982; KEREN, 1989) y en suelos agrícolas (ROTH *et al.*, 1987). El sellamiento provoca la reducción de las tasas de infiltración y conductividad hidráulica de los suelos (ELLISON, 1947; MORIN *et al.*, 1967; SEGNER y MORIN, 1970; BRADFORD *et al.*, 1987; MORIN *et al.*, 1989), iniciándose antes del encharcamiento y dependiendo de la intensidad y energía cinética de la lluvia (BRADFORD *et al.*, 1986; RÖMKENS *et al.*, 1986; BAUMHARDT *et al.*, 1991a; 1990b).

En zonas sin vegetación, donde el sellamiento tiene su origen en el impacto de las gotas, es la intensidad, más que la duración de la lluvia, la que controla el grado de encostramiento (RÖMKENS *et al.*, 1975; 1990). En estas zonas hay un aumento

del sellamiento al reducirse la pendiente, ya que la erosión es menor y la persistencia de la costra mayor (POESEN, 1985; 1986).

La porosidad del suelo favorece la infiltración, debido a que el volumen potencial de agua infiltrable es mayor cuanto mayor es el volumen de los poros del suelo. La relación porosidad-infiltración se ha encontrado positiva en muchos estudios (SONI *et al.*, 1985). Respecto a la densidad, la relación debe ser negativa, ya que ésta es una característica directamente inversa a la porosidad del suelo (LENTZ *et al.*, en prensa)

Los macroporos juegan un papel muy importante en los modelos de generación de escorrentía (KIRKBY, 1988; JONES, 1988; BURT, 1989; JONES, 1990), debido al control que ejercen sobre la hidrología de los suelos por la alta transmisividad hidráulica (BEVEN y GERMANN, 1982; BOUMA *et al.*, 1982). La influencia de los macroporos sobre la infiltrabilidad (EDWARDS, 1988) depende de la distribución, número, tamaño y tipo de macroporos (SMETTEM y COLLINS-GEORGE, 1985b), siendo una relación negativa la que hay entre el número de poros y su tamaño (SMETTEM y COLLINS-GEORGE, 1985). El control de los macroporos sobre la hidrología de los suelos ha sido encontrado por algunos autores como muy importante (SILLIMAN y WRIGTH, 1988), especialmente sobre las variaciones espaciales (CLOTIER y WHITE, 1981; THOMAS y PHILLIP, 1991; EDWARDS, 1982). Incluso algunos autores (SMETTEM, 1987) defienden la necesidad de discriminar entre la infiltración vía macroporos, o bien a través de la matriz del suelo, ya que son dos procesos que se producen de forma muy diferente y afectan a la hidrología de la cuenca de forma muy dispar (BURT, 1986).

La influencia de las sales sobre la infiltrabilidad de los suelos depende de las reacciones químicas que se produzcan entre los solutos aportados por el suelo y el agua precipitada (BEN-HUR *et al.*, 1985; NIELSEN *et al.*, 1986; LEVY *et al.*, 1988). En general, la concentración electrolítica puede favorecer la floculación de las arcillas y el consiguiente aumento de la infiltración (YAIR y DANIN, 1980; QUIRK y SCHOFIELD, 1985; AGASSI *et al.*, 1981; BEN-HUR y SHAINBERG, 1989). La salinidad del suelo es un factor especialmente importante en las regiones áridas y semiáridas (NAVAS, 1988; KEREN, 1989), donde los estudios realizados en campos de cultivo han demostrado un aumento de la infiltración con uso de yeso fosfatado como abono (KEREN *et al.*, 1981; AGASSI *et al.*, 1982; 1986; 1989a), debido al aumento de la estabilidad de los agregados y de la rugosidad del suelo, aunque estas influencias positivas se reducen con el aumento de la pendiente (AGASSI *et al.*, 1989b). WIEGAND *et al.*, (1966) demuestran la existencia de una relación negativa entre suelo salino y capacidad de infiltración, ya que al aumentar el contenido de

sales descende el volumen infiltrado, aunque otros investigadores han demostrado lo contrario (EVANS *et al.*, 1990). MILLER y SCFRES (1988) encuentran que el sodio favorece la dispersión de las arcillas y el encostramiento de la superficie, con lo cual se reduce la tasa de infiltración, mientras que el yeso tiene el efecto contrario (BENHUR *et al.*, 1986).

La **materia orgánica** ejerce un importante control sobre la infiltrabilidad por que favorece la agregación entre las partículas, lo que aumentará la porosidad y transmisividad hidráulica del suelo. Esto junto a la propia esponjosidad dada por la materia orgánica favorece una mayor capacidad de infiltración (MANNERING *et al.*, 1966) que ha sido encontrada como el factor mejor correlacionado con la infiltración en algunas investigaciones (WILCOCK y ESSERY, 1984). En suelos cultivados, debido a la eliminación de otros factores (vegetación, hojarasca, estructura etc.) la materia orgánica se presenta como esencial en el control de las tasas de erosión y escorrentía (ZUZEL *et al.*, 1990). En este tipo de suelos, una pequeña reducción de la materia orgánica en el suelo favorece un aumento de los procesos de erosión y escorrentía (FULLEN, 1991a).

Desde los primeros estudios, se demostró que la **humedad** del suelo reducía su infiltrabilidad (HORTON, 1941), aunque ésto no significa que la conductividad hidráulica tenga una relación positiva con el contenido de agua en el suelo (MARCO y REYES, 1986). En general, gran cantidad de autores han encontrado un reducción de los valores de infiltración con el aumento de la humedad del suelo, tanto en laboratorio (HINO 1987; 1988), como en el campo (WILCOCK y ESSERY, 1984; CISLEROVA, 1988), aunque la magnitud depende esencialmente de la textura del suelo (MALIK *et al.*, 1987).

La **pedregosidad** ha sido uno de los temas más tratados en los últimos decenios, encontrándose diferentes explicaciones para su influencia sobre la hidrología del suelo. Distintos estudios han demostrado que, que los fragmentos de roca juegan un papel esencial en la reducción del impacto de la gota de lluvia y por ello en la disminución de las tasas de erosión y aumento de la infiltrabilidad de los suelos (LAMB y CHAPMAN, 1943; GRANT y STRUCHTEMEYER, 1959; ADAMS, 1966; BOX, 1981; POESEN *et al.*, 1990; AGASSI y LEVY, 1991).

Por una parte, las piedras mantienen la humedad del suelo y corrigen las alteraciones térmicas, con lo que favorecen el desarrollo de la actividad biológica, el incremento de materia orgánica y la mejora de la agregación del suelo, así como la eliminación de costras y degradación de la superficie, aumento de la rugosidad, etc., factores todos ellos favorecedores de la infiltración (MEYER *et al.*, 1972; PARISI, 1979; SANCHEZ y WOOD, 1987). En cambio, el volumen ocupado por las piedras,

normalmente, reduce el volumen poroso total del suelo, con lo cual la capacidad de retención y transmisión de agua por el suelo puede ser menor.

En diferentes estudios sobre suelos naturales, se han encontrado relaciones negativas entre infiltración y la cubierta de piedras (ABRAHAMS y PARSONS, 1991), lo que generalmente se explica por la posición que ocupan éstas en el suelo (POESEN, 1985; 1986; POESEN *et al.*, 1990), o bien al muestreo sobre suelos desarrollados y con buenas cubiertas vegetales, en los que la relación puede ser negativa o no existir (ABRAHAMS y PARSONS, 1991).

El comportamiento ambivalente de la pedregosidad, dependiendo de su posición y su tipología, ha sido puesto de manifiesto por POESEN e INGELMO (1992), resaltándose la importancia de la porosidad de las zonas colindantes con los fragmentos de rocas. También el tamaño de los fragmentos de roca influyen en la organización de la escorrentía y con ello sobre la infiltración (POESEN y LAVEE, 1991; LAVEE y POESEN, 1991), aunque no siempre se ha demostrado la existencia de esta relación (AGASSI *et al.*, 1981).

La temperatura de los suelos influye en la infiltrabilidad de forma indirecta, ya que controla la densidad del agua del suelo y el estado de los poros y macroporos. Los trabajos de CONSTANTZ y MURPHY, (1991) demostraron que cambios de 5 a 60 °C aumentaron las tasas de infiltración entre tres y cuatro veces.

2.5.2 Factores climáticos.

La literatura científica ha entendido el clima como el factor más importante en el proceso de infiltración, ya que este determina la precipitación y sus características, así como el desarrollo edáfico (LAVEE *et al.*, 1991). BURT (1989) puntualiza que el clima, junto al suelo, son los controles más importantes de la hidrología, si bien el primero determina a su vez al segundo.

La precipitación juega un papel primordial en el control de las tasas de infiltración en base a diferentes aspectos:

- La pluviometría, en general, determina el volumen de agua disponible por los ecosistemas, de forma que en las zonas donde las lluvias son muy elevadas, tanto el suelo como la cubierta vegetal, están lo suficientemente desarrollados como para que toda el agua precipitada se infiltre, al menos a escala de parcela o ladera. En cambio, en climas con bajas precipitaciones, la escasez de cubierta vegetal y el menor desarrollo edáfico dan lugar a una menor infiltrabilidad y una mayor erosionabilidad de los suelos (LAMGBEIN y

SCHUMM, 1958; FOURNIER, 1960; DENDY y BOLTON, 1976; DOUGLAS, 1976).

- La estacionalidad de las precipitaciones, concepto en el cual están inmersas variaciones como intensidad, duración y volúmenes de precipitación, produce una alteración de los volúmenes de agua infiltrada (SALA, 1988; RICHTER y KERTESZ, 1990) siendo en suelos cultivados donde se presenta de una forma más clara (EDWARDS, 1982).

- La intensidad de la lluvia controla las tasas de absorción del suelo, como se demuestra en las curvas envolventes de infiltración (SMITH, 1972; DUNIN, 1976; THORNES, 1976; IMESON, 1983). En general, el aumento de la intensidad de la precipitación produce un encharcamiento más rápido y un mayor volumen de escorrentía, pero también un mayor volumen de agua infiltrada (NASSIF y WILSON, 1965; JOHNSTON *et al.*, 1980; AGASSI y LEVY, 1991).

- En los *suelos degradados*, sin protección vegetal, la existencia de un número mayor de impactos de gotas y energía cinética directa sobre el suelo produce la compactación y encostramiento superficial (FARRES, 1978; MOHAMMED y KOHL, 1987), la movilización de partículas que taponan los poros y con ello la reducción de la capacidad de infiltración (DUNNE y LEOPOLD, 1978; BEN-HUR y LETEY, 1989; KEREN, 1989). En cambio en los suelos en pendiente, algunos autores defienden que una mayor la intensidad de la lluvia aumenta la erosión de la costra y con ello la capacidad de infiltración (DUNNE y DIETRICH, 1980a; POESEN, 1986).

- Por otra parte, en *suelos desarrollados* y con una cubierta vegetal estable, el aumento de la intensidad de la lluvia supone un aumento de la infiltración, debido al mayor encharcamiento, el cual posibilita una mayor absorción del agua por parte del suelo (MORGAN, 1977), así como un más rápido avance del frente de humectación (SAKURA y TANIGUCHI, 1983). Otras razones argumentadas para este comportamiento de la infiltración, son que el aumento de la escorrentía con la intensidad de la lluvia, aumentará la profundidad del encharcamiento y las áreas regidas por la conductividad hidráulica saturada, lo que producirá un mayor volumen de agua infiltrado (DUNNE y DIETRICH, 1980a).

- La importancia de la intensidad de la precipitación sobre la infiltrabilidad de los suelos, hace que la intermitencia de la lluvia altere la respuesta hidrológica de los suelos. En concreto, para intensidades medias de precipitación idénticas, cuanto mayores sean las intermitencias mayores serán

las escorrentías (FLANAGAN *et al.*, 1987a; 1987 b), ya que las intensidades puntuales capaces de superar la máxima tasas de infiltración del suelo, también lo serán (FLANAGAN *et al.*, 1986; WOOLHISER y GOODRICH , 1988).

- Además de la intensidad, volumen y estacionalidad, la **duración de la lluvia** controla las tasas de infiltración, ya que ésta se reduce con el tiempo al saturarse los poros del suelo (ver apartado 2.1).

- Otro factor climático que influye sobre la infiltración son las características físicas de la lluvia. En primer lugar, la **energía cinética**, consecuencia de *tamaños y velocidades* terminales de las gotas, también influirá en el volumen total de agua infiltrada y en una aparición más rápida del encharcamiento (KEREN, 1989; LEVIN *et al.*, 1991), aunque esto sólo afecta a suelos con muy bajas coberturas vegetales, como los campo de cultivo (FOLEY *et al.*, 1991). Algunos autores han entendido que el umbral generador de la escorrentía hay que buscarlo en la energía cinética de la lluvia más que en el volumen de ésta (SLONEKER *et al.*, 1974), debido a que la energía del chaparrón controla la capacidad de infiltración de forma negativa (MORIN *et al.*, 1981; BRADFORD *et al.*, 1987; MORIN *et al.*, 1989).

- La **temperatura** del agua tiene una relación directamente positiva con la infiltrabilidad, debido a que a mayor temperatura la viscosidad del agua se reduce (BOUYOUCOS, 1915) y con ello aumenta la tasa de penetración del agua en el suelo (NIELSEN *et al.*, 1986; CONSTANTZ y MURPHY, 1991).

- La **calidad del agua** precipitada, generalmente en relación a su contenido en sales, puede reducir o aumentar el volumen de agua infiltrado en los suelos, según qué reacciones químicas se produzcan en él (MILLER y SCFRES, 1988). En medios semiáridos, debido a las reducidas e irregulares precipitaciones y a la gran cantidad de polvo en suspensión, la calidad del agua de lluvia es diferente al agua destilada (YAIR, 1991).

- También hay otros factores de importancia secundaria, como el ángulo de incidencia de la precipitación, el cual puede alterar las tasas de infiltración (SHARON *et al.*, 1983), tanto en laderas naturales (SHARON, 1980) como en campos de cultivo (SHARON *et al.*, 1988)

Las **heladas** influyen sobre la infiltrabilidad de los suelos reduciendo ésta (THUNHOLM *et al.*, 1989; EDWARDS y BURNEY, 1991), si bien la percolación del agua no se reduce totalmente (BLACBURN *et al.*, 1990; EDWARDS y BURNEY, 1992). Además, las alternancias de hielo-deshielo pueden alterar la estabilidad de los agregados, y con ello la conductividad hidráulica (BEBOIT, 1973), la capacidad de

infiltración (EDWARDS y BURNEY, 1989), y la erodibilidad de los suelos (BURNEY y EDWARDS 1987; 1989).

2.5.3. Factores geomorfológicos

A pequeña escala, en los paisajes de climas templados, las variaciones espaciales de la infiltración suelen estar controladas por la distribución de la humedad (ANDERSON y KNEALE, 1980), mientras que en climas semiáridos son las variaciones espaciales de los suelos y las precipitaciones las que controlan el proceso (YAIR y LAVEE, 1985). En los climas templados, son las partes cóncavas y especialmente las partes bajas de las laderas, las que generan escorrentía a los cauces (ANDERSON y BURT, 1978; 1980; ANDERSON y KNEALE, 1980; 1982), mientras que en los paisajes semiáridos estos espacios pueden estar en muy diversas localizaciones (YAIR y LAVEE, 1985). Estas afirmaciones nos confirman que hacen que, el conocimiento de las influencias de los factores geomorfológicos sobre la infiltración, son necesarios para la modelización tanto hidrológica como geomorfológica de las laderas y cuencas de drenaje (YOUNG, 1978).

La posición geomorfológica se ha mostrado como muy significativa en el control de la infiltración (BERNDTSSON, 1987), aunque no hay una respuesta similar en todos los paisajes. En algunas investigaciones son las partes bajas las que presentan tasas de infiltración mayores, debido a que en ellas se acumulan mayores volúmenes de nutrientes y de humedad, que favorecen un desarrollo biológico y edáfico (YAIR y LAVEE, 1985). En otras investigaciones se pone de manifiesto todo lo contrario, y se esgrimen explicaciones como la mayor acumulación de partículas finas en la parte baja y la mayor degradación antrópica sobre el medio por su mayor accesibilidad (FULLEN, 1991a; 1991b).

La importancia de la forma de la superficie terrestre, además de controlar los procesos de erosión, también influyen sobre la infiltración, como se ha demostrado por medio de modelos matemáticos (PHILIP, 1991a; 1991b; 1991c). Un ejemplo de ésto es, que en las zonas de *rills* la infiltración es mayor que en la de *inter-rills*, por el mayor encostramiento y menor rugosidad de esta última (YOUNG y ONSTAD, 1985).

La morfología superficial del suelo ha sido estudiada también como un factor controlador de la infiltración. La rugosidad dificulta la formación de un flujo superficial con rapidez, generándose encharcamientos superficiales que aumentan la infiltrabilidad de los suelos por la mayor presión hídrica, así como por la permanencia del agua inmovilizada durante más tiempo sobre la superficie del suelo. Esta relación positiva de la rugosidad con la infiltración ha sido ratificada en muchos trabajos

(DUNNE y DIETRICH, 1980a; LUK *et al.*, 1986; ABRAHAMS *et al.*, 1988; BOOTH y PRICE, 1989).

Los agrietamientos juegan un papel muy importante en la infiltración del agua, y en algunos estudios se han considerado, junto a los macroporos orgánicos, como el factor determinante en la generación de escorrentía (CAMERAAT y IMESON, 1988; CAMERAAT, 1992). En general, las grietas favorecen el aumento de la rugosidad, con lo que éstas incrementan la infiltración (HASEGAWA y SATO, 1987), además de cortocircuitar el sistema y conducir agua a los horizontes inferiores (DUNNE y DIETRICH, 1980b; PAYÀ y CERDÀ, 1992). En algunos paisajes la hidrología de los suelos es controlada por las grietas (BOOTH y RICE, 1989), aunque en muchas ocasiones van asociadas a factores negativos para la infiltración como son las costras (GOVERS, 1991).

La pendiente, normalmente, se ha entendido como un factor relacionado negativamente con la infiltrabilidad de los suelos (MUNN *et al.*, 1973), debido a la existencia de suelos poco desarrollados en las zonas de mayores pendientes. En cambio otros autores no han encontrado ninguna relación (LATTAZI *et al.*, 1974).

POESEN (1984), a partir de experimentos con lluvia simulada en laboratorio, demostró que en suelos no vegetados y encostrados, el aumento de la pendiente producía un aumento de la erosión de la costra y con ello de la infiltración, confirmando los trabajos de SAVAT (1978). Este autor, también destaca la existencia de una mayor zona de contacto entre el suelo y la atmósfera con el aumento de la pendiente, lo que facilita la absorción del agua, especialmente en tormentas cortas o bien de baja intensidad que no llegan a saturar la capa superficial del suelo. El aumento de la pendiente favorece la formación de "rills" y "gullies" morfologías que aumentan la superficie de absorción del suelo, la rugosidad, así como una reducción de la costra superficial, lo que incrementa la infiltrabilidad de los suelos (POESEN, 1985; POESEN, 1986; JORGENSEN y GARDNER, 1987; RAUWS, 1987; POESEN y BRYAN, 1989-90).

La relación pendiente-infiltración parece más compleja que una simple relación lineal. Así algunos autores han destacado el control textural de los suelos que ejerce la pendiente, ya que al aumentar ésta, los suelos tienen en general texturas más groseras, por lo que aumenta la infiltrabilidad de los suelos (LUK *et al.*, 1986; ABRAHAMS *et al.*, 1988). Así, estos últimos autores descubrieron que hasta una pendiente de 12° la producción de sedimentos y de escorrentía aumentaba, pero a partir de este umbral descendía, debido esencialmente a los cambios texturales del suelo y a su rugosidad (ABRAHAMS y PARSON, 1991; ABRAHAMS *et al.*, 1991).

Los anteriores ejemplos nos indican que no son sólo las características edafológicas del suelo las que controlan la infiltrabilidad del agua, además la morfología de las superficies actúan como factores a tener en cuenta (POESEN, 1984).

La **exposición** se muestra como un factor muy importante con el aumento de la latitud y la pendiente de las laderas (KIRKBY, 1986). La importancia de la orientación reside en que el número de horas de sol recibidas por el suelo determinarán sus regímenes de humedad, agregación, actividad biológica, cubierta vegetal, etc., y con ello la aparición de procesos contrastados (CHURCHILL, 1982) y morfologías peculiares (CHURCHILL, 1981). WEAVER (1991) encuentra que las variaciones espaciales de la erosión y la vegetación, así como de la infiltración en una cuenca están controladas esencialmente por la exposición.

La **longitud de la ladera**, ha sido entendido tradicionalmente como un factor positivo respecto a la infiltración, aunque con el aumento de la longitud de la vertiente aumentará el caudal (HORTON, 1945). Actualmente la longitud de la pendiente se entiende como una relación compleja en la que encostramientos, especialmente por sedimentación (POESEN y BRYAN, 1989-90), y catenas de suelos (YAIR y LAVÉE, 1985), juegan un papel muy importante.

2.5.4. Factores culturales

La acción antrópica sobre el medio natural, se ha entendido como muy negativa, ya que la antropización tiende a reducir la infiltrabilidad de los suelos en todos los ecosistemas (DUNNE y LEOPOLD, 1978), y a incrementar las tasas de erosión (PEREZ-CUEVA, 1982). Si el paleolítico no supuso ninguna alteración importante del suelo por parte del hombre, o en todo caso similar a la realizada por cualquier animal, durante el neolítico la roturación y quema de bosques supuso la modificación hidrológica de algunas cuencas de drenaje, el número y extensión de las cuales fue aumentando con el surgimiento de civilizaciones más desarrolladas (BENZVI y LAGERMAN, 1989). La urbanización, proceso acelerado espacialmente con la industrialización, ha favorecido la creación de grandes superficies prácticamente impermeabilizadas, que durante la segunda mitad de este siglo se ha expandido a zonas residenciales (SALA *et al.*, 1990).

En general el impacto antrópico sobre la vegetación, los suelos y los animales ha favorecido la alteración del proceso de infiltración con la reducción de sus tasas (GOUDIE, 1981), aunque la variedad de actividades del hombre hace que esta afirmación sea muy simplista.

El efecto de la agricultura sobre los suelos favorece generalmente el aumento la capacidad de infiltración, aunque ésto es discutible y matizable para cada tipo de paisaje. Como ejemplo, podemos decir que en diferentes cuencas sobre arcillas del Keuper en Luxemburgo, IMESON y VIS (1984c) descubrieron que la pérdida de agua en la cuencas cultivadas era un 20 % mayor que en el resto, mientras que la erosión era entre 2 y 20 veces superior. Hay que decir que en estas cuencas la escorrentía se produce principalmente de forma subsuperficial (IMESON *et al.*, 1981; HENDRIKS y IMESON, 1984), por lo que las diferencias impuestas por el uso agrícola del suelo no son hidrológicamente muy importantes, aunque sí geomorfológicamente, debido esencialmente a la mayor pérdida de material dispersado (IMESON y VIS, 1984c).

El laboreo por una parte favorece la infiltración del agua a través de la matriz del suelo, entre un 50-40%, pero en cambio la destrucción de la estructura y macroporos del suelo hace que la tasas de infiltración se reduzcan (SALLAWAY *et al.*, 1992; PIKUL *et al.*, 1990; WILD *et al.*, 1992), incluso hasta un 2000 % (EDWARDS, 1982). El tipo de cultivo, las técnicas de laboreo, y especialmente las técnicas de conservación también influyen claramente sobre la infiltración (MANNERING *et al.*, 1966; AGASSI *et al.*, 1985; MUKHTAR *et al.*, 1985; KRAMMER, 1986; KWAAD y Van MULLIGEN, 1991; ROTH *et al.*, 1992).

EDWARDS (1982), además de comprobar que el laboreo generalmente reduce la infiltración, encuentra que la magnitud es diferente según la estación, el tipo de cultivo, el modo de realizarse el laboreo, e incluso para cada evento. El abandono del cultivo o la reducción del laboreo produce un aumento del número de macroporos y de los residuos superficiales, con lo que se favorece una regeneración de la infiltración (EHLERS, 1975). Además la revegetación favorece el aumento de la materia orgánica y la mejora de la estructura de los suelos, lo que facilitará la penetración del agua.

En general, el uso de abonos químicos, urbanos y naturales en la agricultura aumenta la absorción del agua en los campos (BALLIF, 1989-90; AGASSY y LEVY, 1990), ya que al igual que los abonos naturales incorporaran materia orgánica al suelo favoreciendo la reducción de la costra y la densidad de los agregados (MAZURAK *et al.*, 1975).

En cambio, la introducción de maquinaria pesada durante las últimas décadas, es un factor negativo debido a que aumenta la compactación del suelo, la reducción de la porosidad y con ello de la infiltrabilidad (FULLEN y REID, 1986; BALLIF, 1989-90).

Las últimas investigaciones han demostrado que las nuevas estrategias del no laboreo facilitan el incremento de la capacidad de infiltración, al aumentar la

agregación entre partículas y la materia orgánica del suelo en general (MANNERING *et al.*, 1966; GONZALEZ *et al.*, 1992). Además el tratamiento realizado sobre el campo determina la capacidad de infiltración, siendo evidente que el manejo es más importante que el tipo de rotación (ROTH *et al.*, 1987).

En los suelos agrícolas, las tasas de infiltración se reducen con la duración del cultivo, pero la magnitud del descenso es diferente según el tratamiento. Esta reducción se debe a la degradación de la estructura del suelo, al descenso de la materia orgánica y a la progresiva desaparición de la actividad biológica del suelo (LAL, 1984a; 1984b). Estudios concretos han demostrado esta influencia negativa del cultivo sobre la hidrología del suelo. En Togo, distintos investigadores han encontrado que las zonas de bosques no producen escorrentía, mientras que en las de cultivo los volúmenes de escorrentía son importantes (POSS *et al.*, 1989-90). Normalmente el factor determinante en estos cambios es debido al aumento del encostramiento por el cultivo (VALENTINE y CASENAVE, 1989).

Respecto al abandono de los cultivos, tema tratado con especial énfasis en este trabajo, su influencia sobre la hidrología de los campos es evidente. La pérdida de la homogeneidad de las superficies tras el abandono es acompañada del esponjamiento del suelo, formación de macroporos, revegetación, etc., lo que suele suponer un aumento de la capacidad de infiltración (ver paginas 41-42).

Algunos autores entienden que el cultivo supone importantes alteraciones del horizonte A, la cuales favorecen el aumento y control de la infiltración por parte del horizonte B (RADCLIFFE *et al.*, 1990), con lo cual el abandono supondrá una revitalización del horizonte superficial en el control hidrológico del suelo.

La ganadería, y en concreto el pastoreo, pueden alterar los ecosistemas al cambiar la estructura de la vegetación (WOOD y BLACKBURN, 1981b) y favorecer la entrada de nuevas especies (SIMMONS, 1989). Estos cambios generalmente vienen acompañados de un aumento de la concentración de sedimentos (WOOD y BLACKBURN, 1981b) y de las tasas de erosión (WARREN *et al.*, 1986). Por lo que respecta a la hidrología de los suelos, el pastoreo reduce la capacidad de infiltración (STOECKLER, 1959; BLACKBURN, 1979), aunque también se admite que puede favorecerla al formar pequeños charcos en los puntos donde pisa el ganado, dando lugar a un aumento de la rugosidad del suelo y de la altura del encharcamiento. Normalmente la capacidad de infiltración decrece en relación a la intensidad (BLACKBURN, 1979; GAMOUGOUN *et al.*, 1984), y estacionalidad del pastoreo (NAETH, 1988), lo cual es debido esencialmente a la alteración del mantillo y el horizonte orgánico (NAETH *et al.*, 1991), afectados directamente por la compactación de las pisadas de los animales (THUROW *et al.*, 1986; 1988).

Investigaciones recientes han demostrado que la gestión del pastoreo de forma adecuada, basada en periodos de aprovechamiento corto, puede favorecer impactos sobre el medio poco importantes (WELTZ y WOOD, 1986; WELTZ et al., 1989), al contrario que la explotación intensiva (WARREN *et al.*, 1986a; 1986 b). Por lo general, son las zonas abruptas las más susceptibles de sufrir alteraciones hidrogeomorfológicas importantes a causa del pastoreo debido a la menor estabilidad de estos suelos (WILCOX y WOOD, 1986).

La repoblación o reforestación de tierras ha sido una de las soluciones para la regeneración de zonas degradadas. A pesar de esto, en algunos estudios no se ha encontrado una relación clara entre reforestación y cambios hidrológicos (DUNNE y LEOPOLD, 1978). Otros autores (BINNS, 1979; GARCIA-RUIZ y ORTIGOSA, 1989; ORTIGOSA; 1990; ORTIGOSA *et al.*, 1990), han demostrado que las reforestaciones aumentan la infiltración del agua al comprobarse un fuerte crecimiento de la cobertura vegetal en los cauces con el paso de los años, así como en los suelos reforestados (ROBINSON, 1986).

GARCIA-RUIZ y ORTIGOSA (1988), entienden que espacialmente los efectos beneficioso de las repoblaciones se dejan sentir más en los cauces de segundo orden que en los de primer orden, y que temporalmente, aparece un aumento de la pérdida de suelo tras la reforestación, la cual paulatinamente se reduce junto a las escorrentías con el aumento de la biomasa vegetal y de la infiltración. En general, la reforestación tiende a reducir los volúmenes de agua y sedimentos exportados desde las cuencas (ROBINSON *et al.*, 1991).

En el caso contrario, las deforestaciones, producen una reducción de la capacidad de infiltración que va acompañado de un aumento del nivel del acuífero y con ello de un aumento de la descarga del hidrograma de base, un aumento de la evaporación, así como una reducción del agua del suelo.

La minería ha sido vista como una actividad que favorece la pérdida de suelo y la reducción de su capacidad de retención hídrica, ya que todos los métodos de extracción de minerales, especialmente los de cielo abierto, dejan grandes superficies de derrubios o estériles (WARD *et al.*, 1991a; 1991b). Tan sólo el abandono de las explotaciones, y la consiguiente regeneración vegetal, favorece la recuperación de las tasas de infiltración (JORGENSEN y GARDNER, 1987).

Con el progresivo aumento de la población mundial y el desarrollo tecnológico se ha experimentado una expansión geográfica de las anteriores actividades humanas, lo que sin duda ha dado lugar a una fuerte alteración aún mayor de los suelos y de su hidrología (FOK, 1988). Pero, sin duda, el impacto antrópico más intenso sobre la infiltración se produce con la aparición de espacios urbanos, los

cuales tuvieron su mayor desarrollo a partir de la revolución industrial. La consecuencia de esta expansión urbana de los últimos dos siglos, acompañada en la actualidad por un fuerte crecimiento en los países subdesarrollados y por las residencias secundarias en los países desarrollados trae como consecuencia una importante impermeabilización de la superficie terrestre.

La **urbanización**, hasta la actualidad, es el estadio de máxima alteración y degradación del medio por el hombre, y como tal, la modificación de las pautas hidrológicas son alarmantes (JACOBSEN, 1980). En definitiva, podemos decir que la impermeabilización producida por las edificaciones y el pavimento hacen que la capacidad de infiltración se reduzca al mínimo en las ciudades (COOKE y DOORKAMP, 1974).

Además, acompañando el crecimiento de la población y de su concentración en núcleos urbanos se ha producido un desarrollo tecnológico en las sociedades humanas, que ha generado un crecimiento del número de superficies destinadas a **vías de comunicación** y gestión de los espacios naturales (cortafuegos y caminos forestales), que sin duda ha favorecido la aparición de cambios en los patrones hidrológicos y erosivos en las laderas y cuencas de drenaje, además de reducir drásticamente los volúmenes de agua infiltrada.

2.5.5. Incendios y abandono de cultivos. Dos factores relevantes en el ámbito mediterráneo en la actualidad

Entre otros problemas ambientales que en la actualidad sufre nuestra sociedad: contaminación, explotación excesiva y salinización de acuíferos, contaminación del agua, etc., el País Valenciano en particular y los países mediterráneos en general, se ven afectados por dos impactos o alteraciones de gran magnitud sobre el medio: los incendios forestales y el abandono de cultivos en áreas de montaña. El primero, los **incendio forestales**, afectan al medio natural desde hace milenios, pero ha sido durante los últimos veinte años cuando se ha producido un crecimiento inusitado de la superficie incendiada. Seguramente, esta expansión de los incendios forestales, en general provocados, está muy relacionada con el abandono del mundo rural por parte de la población, proceso migratorio que ha provocado a su vez la aparición de gran cantidad de **campos de cultivo abandonados**.

2.5.5.1. Incendios forestales

La importancia de los **incendios forestales** en todos los países de clima mediterráneo tiene su origen en las características de los ecosistemas, tanto

climáticos, aridez estival, como biogeográficos, abundancia de especies pirófitas (GENERALITAT, 1988). A esto hay que añadir la acción antrópica directa, la cual favorece los incendios y con ello las pérdidas económicas y ecológicas inmediatas, junto a la creación de una potencial situación de degradación (VELEZ, 1990).

En el País Valenciano, y en el estado español en general, en la actualidad, este problema es de tal magnitud que muchos investigadores lo reconocen como uno de las causas de la desertificación (RUBIO, 1987), ya que al menos el 10 % de la superficie forestal española desde 1975 (UBEDA *et al.*, 1990) ha sido incendiada, haciéndonos pensar que este problema es el más serio en la gestión de los recursos naturales.

El continuo incremento de los incendios forestales y de la superficie incendiada desde 1961 a 1980 en todo el estado español (MORENO, 1989) es una tendencia, que en el caso del territorio Valenciano, se ha acrecentado con dos grandes desastres ecológicos: uno en los años 1978-1979, donde se incendiaron más de 150.000 ha con el catastrófico incendio del Caroig como ejemplo más significativo, y otro, 1990-1992 en el que los datos totales no se conocen, pero en el que incendios como el de Buñol, Serra de Bèrnia, Serra de Espadà, Castell de Castells, Calderona, Desert de les Palmes, etc., son ejemplos clarificadores de la magnitud del problema. La gran cantidad de superficie incendiada en la década de los 70 (SANROQUE, y RUBIO, 1982) se ha visto superada con el periodo catastrófico de finales de los 80 y principios de los 90.

La existencia de fuegos naturales durante la prehistoria ha sido ampliamente documentada, como también lo ha sido el uso del fuego por parte del hombre para la puesta en cultivo de tierras. Éste, fue el primer impacto del hombre sobre el medio y con el se inició una alteración y diversificación de los ecosistemas que dura hasta hoy (SIMMONS, 1989). La antigüedad de la presencia del fuego en el ecosistema mediterráneo es entendido como un factor ecológico natural (GARCIA-FAYOS, 1987), lo cual está relacionado claramente con la adaptación al fuego de la flora mediterránea (NAVEH, 1990b).

Por lo tanto, a pesar de que los fuegos son considerados como un proceso natural en el mediterráneo, aunque la acción antrópica ha favorecido su expansión de una forma alarmante (NAVEH, 1990a). Esta ancestral coexistencia de los ecosistemas con el fuego ha favorecido su adaptación (OECHEL, 1990; QUINN, 1990), pero no la eliminación del problema del aumento de la pérdida de nutrientes, suelo y agua tras los incendios (SANROQUE *et al.* 1980; SANROQUE, y RUBIO, 1982; SEVINK, 1988; BROWN, 1990) especialmente en áreas de elevada reincidencia.

Los efectos de los incendios en los ecosistemas han sido largamente estudiados, aunque quedan lagunas en la investigación. El fuego generalmente reduce el contenido de la **materia orgánica** del suelo (GIOVANNINI y LUCCHESI, 1983; SANROQUE *et al.*, 1985; GIOVANNINI *et al.*, 1987), ya que se produce una mineralización de ésta al liberar los nutrientes contenidos en la necromasa (MORENO, 1989). A pesar de esto, en los incendios de baja intensidad las modificaciones de la materia orgánica no son muy importantes, debido a las bajas temperaturas alcanzadas (IBAÑEZ *et al.*, 1983; FERNANDEZ *et al.*, 1988; ALMENDROS *et al.*, 1990).

Otro efecto de los incendios es la generación de **sustancias hidrófobas** (DEBANO *et al.*, 1970; SAVAGE *et al.*, 1972), las cuales normalmente son lavadas en profundidad, y dan lugar a un horizonte hidrofóbico (SAVAGE, 1974; DEBANO *et al.*, 1976). Este proceso contribuye al aumento de la repelencia de los suelos y con ello a la reducción de la infiltración (DEBANO, 1971; DEBANO y RICE, 1973; McNABB *et al.*, 1989).

Uno de los efectos más importante tras los incendios es la **reducción de la estabilidad de los agregados** (GIOVANNINI y LUCCHESI, 1983; GIOVANNI *et al.*, 1987; UBEDA *et al.*, 1990; MOLINA *et al.*, en prensa). Pero en esta influencia de los incendios forestales es posible encontrar tendencias contrarias, cuando hay fuegos de baja intensidad (IBAÑEZ *et al.*, 1983; DIAZ-FIERROS; *et al.*, 1987) en los que la agregación aumenta o bien sufre ligeras modificaciones, debido esencialmente a la cementación del suelo por el fuego (NISHITA *et al.*, 1970; GIOVANNINI *et al.*, 1988).

La influencia de la intensidad del fuego parece ser uno de los determinantes del comportamiento de los suelos tras los incendio, ya que es el factor esencial en muchos casos de la magnitud de las alternancias sufridas por el suelo (MOLINA y SANROQUE, 1991), especialmente de su hidrofobicidad posterior (SEGÓNUL, 1987).

En general, se acepta que, como consecuencia de los incendios, la reducción de la cubierta vegetal produce un aumento en la erodibilidad de los suelos (IMESON y VIS, 1984b; SANROQUE *et al.*, 1990), lo que junto a una reducción de su infiltrabilidad (BROWN, 1972; BOSCH *et al.*, 1986; SENVIK, 1988; CERDÀ y CALVO, 1991), favorece la alteración de los procesos geomorfológicos en las laderas y en las cuencas de drenaje (SCOTT y VAN WYK, 1990).

Según GONZALEZ *et al.*, (1992), el suelo sufre diferentes impactos debidos al fuego: a los siete meses se produce la destrucción de la materia orgánica, lo cual debilita la estructura del suelo, crece la cantidad de carbono y nitrógeno por la combustión incompleta, y finalmente se produce un aumento del pH por las bases

incorporadas. Normalmente, no hay variaciones texturales, pero el horizonte superior se ve erosionado.

A nivel de parcela e incluso de ladera, los anteriores procesos son fácilmente apreciables, incluso por la morfología o marcas de erosión de los suelos (MAY, 1990). A escala de cuenca, también encontramos cambios muy importantes, siendo el aumento de los coeficientes de escorrentía y los picos de crecida los rasgos más característicos de los hidrogramas tras los incendios (VAN WYK, 1987). A esto, hay que sumar una mayor turbiedad de la escorrentía debido al mayor volumen de sedimentos, así como al alto contenido de cenizas. A pesar de esto, la regeneración de la vegetación normalmente es muy rápida tras los incendios (TRABOUD, 1990), aunque los efectos sobre los ecosistemas son evidentes (CASAL *et al.*, 1990; DE LILLIS y TESTI, 1990). El paisaje en general, presenta claras muestras de alteración tras los incendios (GARCIA FAYOS, 1987; SANROQUE *et al.*, 1989; BROWN, 1990), lo cual se agrava cuando este efecto es repetitivo.

En general, tras los incendios los ecosistemas se vuelven más sensibles debido a la degradación sufrida (menor vegetación, horizonte superficial degradado, etc.), y es en estos momentos cuando la actividad antrópica puede alterarlo totalmente con actividades poco afortunadas (VAN LEAR *et al.*, 1985). La repetición de incendios puede producir una menor cubierta de vegetación y con ello un aumento de la erosión, si bien en cada incendio nos podemos encontrar con factores favorables a la infiltración como son las cenizas, aunque cuando estas son muy finas tienen tendencia al encostramiento y con ello a la reducción de la infiltración (NAMMAH, 1986).

2.5.5.2. Abandono de cultivos

Los campos de cultivo juegan un importante papel en la hidrología de las cuencas de drenaje mediterráneas debido a la modificación de los flujos naturales (SHANAN y SHICK, 1980). Pero, a esta alteración del medio se une en la actualidad un proceso generalizado de **abandono de cultivos** en las áreas de montaña, lo que ha conformado un mosaico de campos con distintas edades de abandono en el mundo rural y por lo tanto con comportamientos hidrogeomorfológicos muy variados.

En el País Valenciano, la expansión agrícola de los siglos XVIII y XIX, basada en cultivos comerciales como la vid, se vió frenada en un principio por los propios impedimentos físicos, siendo recientemente las diferentes crisis económicas las que han determinado el fuerte retroceso del área cultivada. Cambios en los sistemas de producción y en la orientación económica del país han favorecido el abandono de las

zonas cultivadas, y con ello la aparición de nuevos ambientes, donde el suelo vuelve a quedar sometido a los procesos naturales en lugar de al laboreo periódico.

En los últimos 50 años, las zonas agrícolas de montaña en el Estado Español se han reducido de forma drástica. LASANTA (1989) demuestra que la superficie agraria abandonada en algunos valles del Pirineo aragonés en 1957 era del 63%, y este aumentaba hasta un 97% en 1980. Para un periodo similar, 1940-1986, y en una área cercana a nuestra zona de estudio de la Vall de Gallinera, RODRIGUEZ-AIZPEOLEA (1990) mediante fotointerpretación, atribuye una pérdida de un 58% de la superficie cultivada, aunque las estadísticas agrarias sólo reconozcan un 23 %.

Dentro de los estudios de ecología de montaña, el estudio de la problemática que suscitan los abandonos del cultivo ha sido muy importante (RODRIGUEZ y LASANTA, 1992), siendo el tema tratado desde distintos aspectos: socioeconómicos (CRUZ, 1990), tipológicos (ARNAEZ y PEREZ-CHACON, 1986), biogeográficos (FRANCIS, 1986c), geomorfológicos (FRANCIS, 1986a), hidrológicos (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991), etc.

Desde un punto de vista geoecológico, las consecuencias en el cambio de actividad del territorio son poco conocidas, pero está claro que el abandono de los campos supone una alteración importante en los ecosistemas debido a la modificación de los factores y procesos geomorfológicos (GARCIA-RUIZ y LASANTA, 1990). En general, tanto bajo conceptos geomorfológicos, como biogeográficos, la heterogeneidad aumenta tras el abandono (RUIZ-FLAÑO *et al.*, 1991), ya que el cultivo se caracteriza por la homogeneización del suelo. Si tras el abandono, el impacto humano sobre el espacio es reducido, la regeneración vegetal se produce con gran rapidez (GODROM *et al.*, 1981), tanto en climas húmedos (GARCIA-RUIZ, 1991) como en climas semiáridos (FRANCIS, 1990). En todos los casos consultados, la colonización vegetal se inicia con las herbáceas para continuar rápidamente con el matorral, etapa en la cual la producción de sedimentos y escorrentía se reduce drásticamente, hasta el punto de que muchos investigadores no entienden como necesaria la reforestación (FRANCIS y THORNES, 1990; RUIZ-FLAÑO *et al.*, 1991).

Con el tiempo, la mejora de la cubierta vegetal favorecerá la reducción de la erodibilidad del suelo, así como el aumento de su estabilidad (THORNES, 1985), lo que propicia la mejora de las condiciones edáficas e hidráulicas del suelo, tendentes a un incremento de la infiltrabilidad (FRANCIS, 1990) y una reducción como consecuencia de ello de la descarga hídrica de la cuenca (LLORENS y GALLART, 1990)

Pero el proceso de recolonización vegetal, además de su tendencia positiva, se caracteriza por su no uniformidad y linealidad (LLORENTE y LUENGO, 1986;

PEREZ y VABRE, 1988) siendo generalmente más rápido, en valores de cobertera, al principio del abandono (FRANCIS, 1986c). Esta no linealidad, también se ha encontrado en la evolución de las variables hidrológico-erosivas, ya que en los primeros años el escaso recubrimiento vegetal del suelo y la formación de costras superficiales alteran la tendencia general (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991).

Como ha quedado patente el abandono del cultivo favorece la mejora del suelo, debido esencialmente a la recolonización vegetal. Este mismo abandono significa la no reparación de los sistemas de abancalamiento y otras mejoras dependientes del hombre, así como el cambio hacia una nueva economía ganadera, donde la destrucción de muros y los incendios intencionados (GARCIA-RUIZ, 1991), no favorece la estabilidad del sistema de abancalamientos, aumentando la erosión de los suelos (GARCIA-RUIZ *et al.*, 1988). La evolución de las áreas abandonadas depende esencialmente de tres factores: clima, litología y características de los suelos abandonados, además del uso del suelo tras el abandono agrícola y las características de las construcciones.

2.5.6. Interrelación de factores

Aunque la exposición de los factores de la infiltración de forma individual, pudiera sugerir que la investigación en este sentido está cerrada, hay que decir que en muchos casos las relaciones no son claras y en aspectos muy concretos las tendencias encontradas son contrapuestas. Las razones de este comportamiento, en ocasiones arbitrario o aleatorio, se debe a las características físicas del proceso de infiltración, a las variaciones espaciales, temporales y estacionales de éste, así como a la influencia y a la interrelación de los distintos factores (ROGERS *et al.*, 1964; MOREL-SEYTOUX, 1983)

Los factores de la infiltración antes revisados pueden, y de hecho actúan conjuntamente, con lo cual los resultados finales son difíciles de predecir. La interrelación de factores es además mucho más complicada cuando se estudia en diferentes ambientes, como en la presente investigación, ya que en cada uno de ellos hay factores principales o controladores del proceso. Además, en ambientes áridos y semiáridos, la menor importancia del factor humedad ha hecho que las relaciones entre factores sean más complejas (YAIR y LAVÉE, 1981) y posiblemente favorezcan que las variaciones en el tiempo y en el espacio sean mayores.

Gran parte de los estudios buscan el factor más importante, el que rige el funcionamiento del proceso en un determinado ambiente. Como se desprenderá de este trabajo, esto es simplemente una explicación superficial de los mecanismos y

sistemas que rigen la naturaleza, ya que ésta depende de factores de diferentes subsistemas (edáficos, climáticos, culturales, etc.), de sus variaciones en el espacio, en el tiempo y de ambas a lo largo de las estaciones (GLASS y STEENHUIS, 1984).

2.6. Técnicas de medición: evolución y críticas

A pesar de la importancia de la infiltración en el ciclo hidrológico y erosivo de la tierra, el número de mediciones directas es muy reducido, si lo comparamos con otros procesos hidrogeomorfológicos o con el amplio desarrollo matemático del proceso de infiltración (WILCOCK y ESSERY, 1984). En general, en el mundo científico existe la idea de que las mediciones directas son mucho mejores que las indirectas (DUNNE y LEOPOLD, 1978), aunque tienen el inconveniente de ser muy costosas (GREGORY y WALLING, 1973). Lo cierto es que, además de su valor intrínseco, las mediciones directas son necesarias para validar los modelos teóricos (DUNIN, 1976), así como modelos de distribución espacial y temporal, para lo cual son necesarios un volumen de datos considerables. Con este fin han surgido diferentes tipos de infiltrómetros, si bien la heterogeneidad tanto en las técnicas como en la forma de reproducir el proceso de infiltración son las principales características de éstos.

La medición de la infiltración, se inició de forma científica a principios de este siglo con la aparición de centros de investigación especializados en temas agrícolas en EE.UU., aunque, es de suponer que civilizaciones antiguas, surgidas a partir del regadío, disponían de técnicas para la medición del proceso.

El cálculo de la infiltración, a escala de cuenca, tiene ciertos inconvenientes, ya que no refleja la infiltración real de los suelos al estar la respuesta hidrológica de la cuenca mediatizada por los modelos de escorrentía que la rigen para una determinada precipitación. En general, este tipo de estudios, se basan en la medición de los caudales de una cuenca y la sustracción de éstos respecto del hietograma (REEVES y MILLER, 1975). Este método tiene el inconveniente de ofrecer información de un área de forma global, sin matizar las diferencias espaciales existentes dentro de ella, y sin explicar como se produce el proceso (SOULIOS, 1984/85).

Los problemas presentados por los anteriores métodos puede solucionarse con la medición de la infiltración directamente sobre el suelo en pequeñas parcelas, las cuales aunque utilizan el mismo método, cálculo de la infiltración, se diferencian de las anteriores por su homogeneidad de la superficie estudiada, así como por tiempos de retraso de la escorrentía cortos (SCHROEDER *et al.*, 1982). Estos infiltrómetros los podemos dividir entre aquellos que utilizan la lluvia, simulada o no, y

aquellos que se basan en el encharcamiento de la superficie del suelo: infiltrómetro de cilindro.

De entre los segundos, las técnicas son diversas. Existen **infiltrómetros de cilindro**, tanto de simple como de doble cilindro, en los cuales los métodos y las características de los instrumentos varían muchísimo (ROCHE, 1960; HILLS, 1970; FULLEN, 1985; KWAAD y Van MULLIGEN, 1991). También se puede medir la infiltrabilidad de los suelos a partir del encharcamiento de una hendidura, técnica muy utilizada en el mundo francófono y denominada método PORCHET (ROCHE, 1960; DUCHAFOUR, 1975). Otros métodos son el encharcamiento de un campo de cultivo o de un surco (YOO, 1987; EVANS *et al.*, 1990a ; 1990b), utilización de permeámetros (WIT, 1967; BOERS *et al.*, 1988; ELRICK *et al.*, 1990), a partir de los cambios en la humedad del suelo, con modelos teóricos, físicos, o empíricos, midiendo la evolución de la zona humectada a partir de un caudal determinado (BOIFFIN y MONNIER, 1985), etc.

En cuanto a la medición a partir de la lluvia, normalmente, se ha realizado sobre áreas de reducido tamaño para que el tiempo de retraso de la escorrentía no altere las tasa del proceso y para que se cubran superficies homogéneas (MEYER *et al.*, 1938; WOOD, 1987; GARCIA-RUIZ, 1990; RUIZ-FLAÑO, 1991; RUIZ-FLAÑO, 1992). Cuando, además, estas mediciones se han tenido que realizar en climas con precipitaciones irregulares o reducidas, cuando el investigador necesita los datos con rapidez, o simplemente cuando se quiere aplicar una lluvia standard se ha recurrido a la lluvia simulada (USDA-ARS, 1982; USDA-SEA, 1979; USDA-USDE-SRM, 1985).

Si la repetición rutinaria de experimentos en una red de parcelas puede generar modelos de las variaciones en el tiempo y en el espacio de la contribución a la escorrentía dentro de una cuenca (SELBY, 1970), el uso de simuladores o productores de lluvia no natural en conjunto con una serie de parcelas ha sido propuesto para acelerar la recolección de los datos y para especificar la distribución de la infiltración en los sistemas naturales (COSTIN y GILMOUR, 1970).

De entre todos estos métodos, las mediciones con cilindro y con lluvia simulada han sido los más de mayor difusión internacional, por lo que presentamos su evolución reciente.

2.6.1. Medición con encharcamiento: infiltrómetro de cilindro

La medición mediante encharcamiento consiste simplemente en un cilindro hueco, el cual tras haber sido incrustado en el suelo y saturado su volumen con agua se mide el descenso de la altura de ésta (ver figura 3.17). Además de la simplicidad

del método, su reducido coste ha facilitado la expansión de esta técnica. Tanto su origen, como su mayor expansión se encuentra en los estudios realizados en zonas cultivadas, en las cuales la infiltración del agua se produce en muchas ocasiones por medio de un encharcamiento artificial y controlado por el hombre.

La evolución tecnológica de los infiltrómetros se ha caracterizado por la innovación de las técnicas que envuelven la toma de datos más que una mejora del propio instrumento. A los primeros infiltrómetros de cilindro surgidos entre los ingenieros agrónomos americanos en los años 20 y 30, se les han unido posteriormente otros diseños, aunque la forma circular y el procedimiento técnico es semejante al de los primeros instrumentos de medición.

Los primeros estudios realizados con infiltrómetros de cilindro abarcaron tanto estudios sobre suelos cultivados, como naturales. En 1934, AUTEN, investigó sobre dos temas que se han mantenido en plena actualidad: el efecto de los incendios y del pastoreo en la absorción del agua por el suelo. Otro estudio clásico es el de DONEEN y HENDERSON (1953) sobre la infiltrabilidad de los suelos de campos de cultivo.

En la década de los 50, se inician trabajos metodológicos dirigidos a determinar la influencia del tamaño del infiltrómetro en la medición del proceso. Algunos autores, aconsejan cilindros de 6 pulgadas de diámetro (FRIEDRICH, 1951; SCOTT, 1956), mientras que para otros son 12 (KIRKBY, 1948) o 3 pulgadas (STOECKELER, 1959) los diámetros más aconsejables. Las diferencias en el tamaño de los infiltrómetros ha permanecido tras tres décadas de investigación, ya que en la segunda mitad de los años 80 y en estudios similares nos encontramos con infiltrómetros de cilindro de tamaños muy diferentes. En 1985, SMETTEM y COLLINS-GEORGE utilizan un infiltrómetro de 30 cm, mientras que en 1988 el utilizado por CISLEROVA y colaboradores es de 60 cm de diámetro, siendo menor a 10 cm en muchas ocasiones (HARVEY, 1982; WEIR, 1987)

En general, aunque algunos autores no han encontrado una relación clara (TAYLOR *et al.*, 1991), con el incremento del tamaño del infiltrómetro la tasa de infiltración decrece (YOUNGS, 1991), por lo que a los infiltrómetros de tamaños pequeños se les acusa de sobrevalorar los resultados (PANNO *et al.*, 1991)

En cierto modo, la evolución de la técnica del infiltrómetro de cilindro y del instrumento en sí, ha estado muy relacionada con la entrada en un campo dominado por los agrónomos de investigadores provenientes de otras ramas de la ciencia: hidrólogos, geomorfólogos, o edafólogos. Así, durante las últimas dos décadas se ha tendido a utilizar infiltrómetros de menor calibre (HARVEY, 1982; SCOGING, 1982a), y tiempos de toma de muestra mucho menores con el fin de definir la curva de infiltración con mayor precisión.

Las ventajas del infiltrómetro de cilindro se basan en la gran simplicidad de manejo y facilidad en la elaboración de datos, costos muy bajos tanto en la construcción como en su utilización y fácil transportabilidad. Esto ha hecho que su uso sea masivo (SWARTZENDRUBER y OLSON, 1961b; TAYLOR y BLAKE, 1982; BERNDTSSON *et al.*, 1985b; BOUWER, 1986; BRU RODA y CUENCA PAYÁ, 1986; ROMERO DIAZ, 1986; CONESA GARCÍA, 1987).

A pesar de estas ventajas, de carácter puramente práctico, el infiltrómetro de cilindro se caracteriza por sus problemas metodológicos. Así, desde el principio de su uso algunos autores opinan que la destrucción del suelo es muy importante en la pérdida de precisión (HORTON, 1940), mientras que otros piensan que la mayor fuente de error está originada en la pérdida lateral del agua por el flujo subsuperficial (PARR y BERTRAND, 1960). Resumiendo, las diferentes influencias del método en la respuesta hidrológica del suelo se deben a:

- *Destrucción del suelo durante la colocación del infiltrómetro.* Es especialmente importante en suelos naturales, en los cuales, se produce una alteración de la estructura del suelo, de la costra superficial, de la pedregosidad, etc. Los bordes del cilindro además producen un flujo preferente de agua que favorece la sobreestimación de la infiltrabilidad de los suelos. La única solución para este problema ha sido la utilización de cilindros con paredes muy finas o bien afilar las puntas del infiltrómetro para reducir los problemas de la entrada de este en el suelo.

- *Flujo lateral del agua.* La complejidad del problema ha favorecido la aparición de múltiples soluciones; desde la corrección matemática de la pérdida subsuperficial (muy variable dependiendo del suelo), utilización de cilindros muy grandes para minimizar las pérdidas por fugas laterales, excavación y cuantificación del volumen de agua fugado (MARSHALL y STIRK, 1950), humectación continua de las zonas colindantes al infiltrómetro (SWARTZENDRUBER y OLSON, 1961a), hasta, incluso, ignorar las pérdidas. La mejor solución encontrada hasta el momento es la utilización de un anillo exterior, igualmente encharcado, pero en el que no se toman medidas. Este segundo anillo mantiene una columna de agua que envuelve a la del anillo central durante el proceso de infiltración, por lo que las pérdidas por fugas laterales serán menores. A pesar de estas precauciones, las pérdidas por flujo lateral existen, siendo el gran problema de esta innovación el elevado consumo de agua y la imposibilidad de utilización en superficies con pendientes superiores a 10 grados.

La importancia de las pérdidas por flujo lateral son muy elevadas, como se confirma al comprobarse que las correcciones realizadas por algunos autores alcanzan valores entre el 20 y el 90 % del volumen infiltrado durante el experimento (HILLS, 1970).

- *Infiltración del agua por la interfases cilindro-suelo.* Este error afecta generalmente a suelos con reducida tasa de humedad, ya que esto facilita su agrietamiento en el contacto con el infiltrómetro y el aumento de la capacidad de infiltración por este punto. En este caso, se han encontrado soluciones definitivas, ya que depende muchísimo del factor humano en la colocación del cilindro.

- *Fuga lateral de aire.* El proceso de infiltración supone un enfrentamiento del aire atrapado en los poros con el frente de humectación. Con el uso del cilindro se obvia este proceso, siendo sólo en parte evitado con la humectación lateral del cilindro o con el uso del infiltrómetro de doble anillo.

- *Profundidad de instalación del infiltrómetro.* La solución a este problema reside en encontrar el punto donde la alteración del suelo sea lo más reducida posible al tiempo que el flujo lateral de agua sea insignificante. La gran variedad de suelos a estudiar hace que la mayoría de autores coloquen el cilindro a la misma profundidad siempre con la intención de estandarizar el problema (HILLS, 1970).

- *Altura de agua encharcada.* La solución para este problema también ha sido homogeneizarla para todas las mediciones (HILLS, 1970). Otra solución sería reducir al mínimo el agua encharcada, para lo cual se han creado instrumentos de recarga directa y medición continua.

- A pesar de la influencia de la *temperatura del suelo* (PHILIP, 1957c) y del agua (LEVY *et al.*, 1989) sobre la capacidad de infiltración, todos los autores las entienden como insignificantes en las mediciones con infiltrómetro de cilindro (HILLS, 1970).

- En general, el mayor error de esta técnica es la *no reproducción de la lluvia natural*, ya que, tanto por la forma como por los volúmenes, el proceso sólo es comparable a la infiltración en campos de cultivo llanos durante la irrigación artificial por encharcamiento.

Todos los problemas o desventajas de los infiltrómetros de cilindro sesgan el resultado final hacia una sobrevaloración de la capacidad de infiltración. La mayoría de los autores abogan por una exageración de los resultados entre 2 y 10 veces respecto de los valores reales (DUNNE y LEOPOLD, 1978).

2.6.2. Medición a partir de lluvia simulada. Evolución de la técnica

Los experimentos con lluvia simulada difieren con respecto a los realizados con infiltrómetros de cilindro tanto en su mayor complicación técnica como en el concepto general del experimento.

Mientras que el infiltrómetro de cilindro es un aparato muy simple, tanto en el uso como en la elaboración de los datos, el simulador de lluvia comporta un diseño adecuado a la investigación, un calibrado y elección de intensidades de lluvia y toda una infraestructura que transportar y mantener operativa (MEYER, 1979b).

Además, los experimentos son muy distintos, ya que en el cilindro se mide la infiltración directamente sobre un espacio encharcado en el que el input de agua es ilimitado, mientras que con la lluvia natural, se mide la escorrentía (generalmente) y los inputs están limitados por la precipitación utilizada.

En general, los simuladores de lluvia se han destinado a estudiar diferentes componentes del ciclo hidrológico (intercepción, infiltración, escorrentía, flujo subsuperficial, etc.), aunque las relaciones lluvia-escorrentía, infiltrabilidad y pérdida de suelo han sido los aspectos más tratados (JOHNSTON *et al.*, 1980), junto a estudios ambientales más amplios (SHIRNER *et al.*, 1977).

2.6.2.1. Evolución de los simuladores de lluvia

El origen de los simuladores de lluvia, años 30 y 40 de nuestro siglo, se encuentra en los problemas metodológicos y conceptuales de las mediciones tomadas con los infiltrómetros de cilindro y con los cálculos de la infiltración a partir de balances hidrológicos de superficies a partir de lluvias naturales.

Desde su origen, la simulación de lluvia se ha entendido como una mera herramienta de trabajo, con la cual se pretende reproducir una parte importante del ciclo hidrológico de una forma experimental, acotando la intensidad de la lluvia a los niveles deseados (SMITH, 1979; CERDÀ y CALVO, en prensa).

La espectacular evolución e innovación de esta técnica durante la segunda mitad del siglo XX, se inició como consecuencia de la importante investigación agronómica llevada a cabo en EE.UU durante los años de entreguerras. En este país, se inició la construcción de simuladores en los años 30, se continuó en los 40, y se aceleró en los 50 (NEFF, 1979), aumentando continuamente el número de simuladores y apareciendo nuevos diseños a partir de los años 60. Los pioneros en esta técnica fueron los estudiosos de la erosión del suelo (NICHOLS y SEXTON,

1932; NEAL; 1938; BEUTNER *et al.*, 1940), a los que sucedieron los investigadores que utilizaban cuencas experimentales de laboratorio para el estudio de la hidráulica de la esorrentía (CHRISTIANSEN, 1942; IZZARD, 1944; HOLTAN y KIRKPATRICK, 1950; TURNER, 1965; CHOW y YEN, 1974).

Las deficiencias de los primeros simuladores de lluvia, en contra de lo que podíamos pensar, no se debió a la falta de recursos técnicos para su construcción, sino a la falta de conocimientos sobre las características físicas de la lluvia. Las herramientas y materiales necesarias para construir un simulador de lluvia como los actuales, ya existían en 1930 con la excepción de las computadoras.

Los rudimentarios simuladores construidos antes de la segunda guerra mundial trataban sólo de aplicar una cantidad de agua sobre una superficie, sin tener en cuenta la forma en que el agua se ponía en contacto con el suelo. Las publicaciones sobre las características de la lluvia (LAWS, 1941; SPILHAUS, 1948), y estudios específicos sobre la relación entre la intensidad y el tamaño de las gotas (LAWS y PARSONS, 1943; GUNN y KINZER, 1949), hicieron que los investigadores mejorasen los simuladores, teniendo siempre a la lluvia natural como modelo a imitar.

Los estudios de los años 40 fueron sólo el inicio, ya que será en las siguientes dos décadas, especialmente los años 60, cuando el avance en los estudios de las lluvias naturales (JONES, 1959; HUDSON, 1963), y su importancia sobre la pérdida de suelo producirá una aceleración en el desarrollo de los simuladores de lluvia (SMITH y WISCHMEIER, 1962; WISCHMEIER, 1962). A esto, también ayudará el desarrollo de ecuaciones e índices de erosión extraídos a partir de estudios experimentales (WISCHMEIER Y SMITH, 1958; WISCHMEIER, 1959; CHOW y HARBAUGH, 1965; WISCHMEIER y SMITH, 1978; WILSON y RICE, 1987).

Los estudios anteriormente mencionados dan una gran importancia a la energía cinética de las gotas de lluvia. Por ello, a partir de los años 60 uno de los grandes problemas de los investigadores será construir simuladores de lluvia que imiten, no sólo la distribución del tamaño de las gotas de lluvia, sino que además estas precipiten con una energía cinética semejante a la real (MEYER y McCUNE, 1958).

Las siguientes dos décadas, años 70 y 80, se caracterizan por la proliferación de simuladores, no sólo en EE.UU. como había ocurrido en las décadas anteriores, sino también en el resto del mundo (EPSTEIN y GRANT, 1966; ELWELL y MAKWANYA, 1980; SCHMIDT, 1983; CROUCH y COLLISON, 1989). La expansión geográfica de esta herramienta de trabajo es fruto, sin duda, de la ampliación del número de disciplinas que utilizan los simuladores de lluvia. Es de destacar la pérdida del monopolio que habían mantenido los ingenieros agrónomos durante las primeras décadas, así como el auge que ha tenido esta técnica entre hidrólogos y

geomorfólogos, siendo además estos últimos los que se han mostrado mas innovadores en sus diseños (TURNER y LANGLORD, 1969; BRYAN, 1981).

Otra característica de la evolución sufrida por los simuladores de lluvia en los últimos veinte años, ha sido la especialización de cada tipo de simulador en unos temas determinados de la investigación. Hasta los años 60, la única especialización de los instrumentos, y no siempre, se reducía a ser dedicados a estudios de laboratorio o bien a investigación de campo. Esto se debe a que eran utilizados sólo en campos de cultivo, y por ello todos repetían el mismo esquema: grandes aparatos, difíciles de manejar y excesivamente costosos (MEYER y HARMON, 1979). En cambio, en las últimas décadas, con la entrada de nuevas disciplinas, se produce una diversificación de los diseños, ya que también son diversos los objetivos.

La creación de nuevos simuladores de lluvia, o bien la modificación de antiguos diseños, es muy frecuente. Las razones explicadas anteriormente influyen en esto, pero además, hay que tener en cuenta que en países como EE.UU., cada vez hay mas estudios sobre la lluvia natural de regiones concretas (CARTER *et al.*, 1974), lo cual produce continuas modificaciones de los simuladores con el fin de imitar mejor la lluvia natural de espacios geográficos espacíficos (BUBENZER, 1979).

2.6.2.2. Simuladores goteadores.

Los primeros simuladores de lluvia que se construyeron fueron de tipo goteador. Estos aparatos se caracterizan por su reducida complicación técnica, ya que consisten en formar gotas individuales y dejarlas precipitar desde ciertas alturas. Los primeros modelos utilizaban fibras de algodón para conseguir el goteo, siendo el primer simulador de lluvia de este tipo diseñado por ELLISON en los años 40 (ELLISON, 1947).

Estos modelos, a pesar de su escasa precisión, sufrieron una continua sofisticación que les llevo a complicaciones técnicas tales como el incremento del tamaño de las gotas con la colocación de fibras de algodón mas gruesas (ROWE, 1940). De todos los construidos, sólo uno de estos modelos (BARNES y COSTEL, 1957) está todavía en funcionamiento actualmente (PETERSON y BUBENZER, 1984).

Con los estudios sobre las características físicas de la lluvia (LAWS, 1941) se confirmó la reducida precisión de estos aparatos, y se buscó otra técnica para producir las gotas artificiales. La nueva técnica consistió en utilizar agujas hipodérmicas, finos tubos de vidrio, polietileno, acero, etc. para producir gotas artificiales de mayor tamaño desde mayores alturas.

Debido a las características de este tipo de simulador: fragilidad de algunos de sus componentes, problemas de transporte y mantenimiento, etc., ha sido utilizado generalmente en investigaciones abordadas en laboratorio (MUTCHLER y MOLDENHAUER, 1963), aunque ha habido casos en los que sus componentes se han adaptado para su uso en el campo.

En general, los simuladores goteadores tienen un fácil control sobre las características de la lluvia por medio de técnicas como la separación de las agujas, la variación en el tamaño de éstas (MUTCHLER y HERSMEIER, 1965), o bien el cambio en la presión del agua del depósito superior (MUNN y HUNGTINTON, 1976a). Para mejorar la producción y control de lluvia artificial se idearon sistema de interrupción del paso del agua en la parte superior de cada aguja (RÖMKEMS *et al.*, 1975)

Los tamaños de las gotas en estos instrumentos es muy dispar, ya que cada investigador intenta imitar una lluvia diferente: 2,2 mm de tamaño medio en BUBENZER y JONES (1971), o bien 5,6 mm en ADAMS *et al.*, (1957).

Pero, la desventaja principal de los simuladores goteadores es que en ellos la lluvia simulada no alcanza la energía cinética de la lluvia natural, ya que, para ésto, los formadores de gotas deberían estar colocados a unos 20 m de altura para los tamaños de gota mayores (EPEMA y RIEZEBOS, 1983). Esto explica su reducida utilización en trabajos de campo, donde alturas mayores a 3 m son muy difíciles de manejar.

Otro de los problemas de los simuladores goteadores es que el impacto de las gotas de lluvia se produce siempre en el mismo punto, perdiéndose así una de las características de la lluvia natural, la *estocasticidad*. Este problema se ha solucionado en algunos simuladores con el movimiento continuo de éstos (KLEIJN *et al.*, 1979), o bien con la colocación de mallas móviles por debajo de las agujas (IMESON *et al.*, 1982), lo cual produce el mismo efecto que el movimiento del simulador, pero con menor complicación técnica. Esta última innovación es, en cierto aspecto, una vuelta a las tiras de algodón de los primeros simuladores goteadores.

Una última deficiencia de este tipo de simuladores es que las gotas producidas, en casi todos ellos, son del mismo tamaño. Hay investigadores (BRAKENSIEK *et al.*, 1979) que han logrado producir gotas de diferentes calibres en un simulador goteador con la utilización de compresores de aire alrededor de los formadores de gotas, o bien mallas sobre las que se rompen las gotas (DE PLOEY, 1981)

Generalmente, estos simuladores son de difícil manejo por el depósito de agua elevado que deben de tener, por la necesidad de montarlos a gran altura y por el propio consumo de agua. Estos inconvenientes, unidos a las dificultades en el

transporte, han agudizado el ingenio de los investigadores, llegándose a construir simuladores que son transportables y utilizables por un operador (McQUEEN, 1963; BLACKBURN *et al.*, 1974; MUNN y HUNTINGTON, 1976b).

En las dos últimas décadas, se ha producido un aumento en la construcción de simuladores goteadores con dedicación exclusiva para trabajos específicos de laboratorio. La razón de esto es que en algunos tipos de experimentos no hace falta conseguir imitar la lluvia natural, sólo conocer la entrada en el sistema suelo de una determinada cantidad de agua (HINO *et al.*, 1987; 1988).

Una característica muy particular de los simuladores de laboratorio es que en ocasiones sólo son parte de otro simulador mayor, aprovechándose de las grandes posibilidades que ofrece la precisión del trabajo en laboratorio: electricidad, inexistencia de viento, paredes que pueden funcionar como soporte, etc. (RÖMKENS, 1979).

Estas ventajas de los laboratorios hacen que los simuladores puedan ser mucho más simples que los utilizados en el campo, ya que un simple montaje de una bureta en alto con diferentes capilares para poder crear gotas de diferentes tamaños puede ser considerado como un simulador de lluvia (RAI *et al.*, 1954; PEREIRA, 1956; MOLDENHAUER, 1965; EPEMA y RIEZEBOS, 1983; IMESON y VIS, 1984a).

El creciente interés del mundo científico por el conocimiento de la respuesta de los suelos "in situ", ha favorecido la construcción de simuladores portátiles, entre los que destaca el modelo de ADAMS *et al.*, (1957), el cual tiene 100 formadores de gotas de 5,5 mm y está colocado a 1 m de altura, siendo la energía cinética de estas gotas la misma que la de la velocidad terminal de una gota de 3,44 mm.

Gran parte de los simuladores de lluvia tienen su origen en estudios específicos en laboratorio. Un ejemplo de esto es el S.T.O.R.M.-1, simulador ideado y dedicado a estudios de laboratorio sobre la importancia del splash en la erosión, y la influencia sobre esta del ángulo de la ladera (MOEYERSONS 1983). Pero tal vez, el simulador de lluvia de laboratorio más importante es el de la Universidad de Lovaina (DE PLOEY, 1981), el cual está situado a 7,1 m de altura y las gotas formadas son de 4,1-4,2 mm, alcanzando el 90 % de la velocidad terminal pero tras ser dispersadas por una malla colocada a 5,4 m de altura el tamaño medio se reduce a 2,3-2,4 mm.

En cambio hay otras situaciones en las que se produce la utilización del mismo simulador tanto en el campo como en el laboratorio, situación ideal por otra parte para poder comparar resultados. Este es el caso del simulador diseñado por el profesor Imeson (IMESON, 1977), el cual ha sido utilizado en distintos ambientes, tanto templados (RIEZEBOS y SEYMAN, 1977), semiáridos (IMESON *et al.*, 1992) como

tropicales (WIERDA *et al.*, 1989). Aunque no es lo más usual, esta situación de simuladores de utilización doble, laboratorio-campo, ya se producía en los años 60 (STEINHARDT y HILLEL, 1966).

2.6.2.3. Simuladores pulverizadores

Durante la década de los 40 y especialmente los 50 y 60 aparecieron otros tipos de simuladores de lluvia, los denominados simuladores pulverizadores, los cuales vieron incentivado el crecimiento de su número cuando se comprobó que una de las características de la lluvia natural es su elevada energía cinética.

El sistema productor de la lluvia en estos instrumentos es a partir del paso del agua a presión por una boquilla que dispersa o pulveriza el agua. Excepto en los casos de simuladores contruidos con un gran capital (MEYER y McCUNE, 1958), las boquillas provenían de diseños dedicados a la irrigación, extinción de incendios, o bien dedicadas a simular la lluvia, pero siempre con fines agronómicos.

La primera generación de simuladores pulverizadores se inició con la aparición de la boquilla tipo F, creada por el "U.S. Soil Conservation Service" (WILM, 1943). El desconocimiento de las características físicas de la lluvia, llevo a que las boquillas se orientasen hacia arriba, perdiendo de esta forma toda la energía cinética complementaria a la ofrecida por la gravedad. En general, el uso de este diseño se encaminó a estudios de infiltrabilidad de los suelos, en los que la energía cinética tiene una importancia secundaria (BEUTNER *et al.*, 1940; HOLTAN y KIRKPATRICK, 1950; LEATHAN y RIESBOL, 1950).

A pesar de esto, las boquillas tipo FA y F, son utilizadas durante algunos años con sensibles modificaciones de los accesorios hasta la década de los 70 (DORTIGNAC, 1951; PARCKER, 1957; MEEWING, 1969).

Una segunda generación de simuladores fue fruto de la efervescencia de estudios sobre conservación de suelo en los años finales de la década de 1950 en EE.UU., lo que hizo posible la aparición del primer simulador de lluvia con la suficiente energía cinética para compararse a la precipitación natural. El *rainulator*, nombre que le dan sus mismos autores (MEYER y McCUNE, 1958), tenía las boquillas orientadas hacia abajo, caracterizándose el soporte por su aparatosidad y elevado coste, lo cual se compensa con que puede ser utilizado sobre parcelas grandes (75 m²) y reproducir llluvias con energía cinética cercana a la natural (MEYER, 1960). Toda la mejora, además de en el tamaño, residió en el diseño de la boquilla (80100 Veejet), la cual fue elegida porque el tamaño de las gotas y la

erosividad de la tormentas creadas con ella estaban muy cerca de las lluvias naturales del medio oeste americano.

En el primer modelo de rainulator se consiguieron tamaños de gotas grandes, pero como consecuencia de esto, las intensidades de lluvia eran excesivas.

La colaboración de uno de los constructores del rainulator con otros investigadores aportó nuevas soluciones. Una de éstas fue la del movimiento alternativo de las boquillas (BUBEZER y MEYER, 1965), la cual se realizó primero en un simulador de laboratorio y ha sido mantenida incluso en simuladores de reciente construcción (HARMON, 1977; ASSELINE y VALENTIN, 1978; FOSTER, 1979). MEYER *et al.*, (1979) desarrollaron un sistema de movimiento más rápido de las boquillas sobre parcelas de reducida extensión, lo que junto a otras mejoras ha posibilitado que los ciclos de intermitencia de 20 segundos se hayan reducido a tan sólo medio segundo (FOSTER *et al.*, 1982; ZEGELIN y WHITE, 1982).

Las modificaciones del diseño original del rainulator han sido múltiples, ya que algunos autores han utilizado parcelas de 8,4 m² y han cambiado las unidades de propulsión del simulador para reducir la intermitencia (SIEMENS y OSCHWALD, 1978). Las modificaciones del rainulator han afectado incluso a las boquillas, siendo sustituida la 80100 por la 80150 veejet, ya que en esta última, la energía cinética es mucho mayor (MEYER y HARMON, 1977). Pero esto, no ha reducido la intermitencia, ni la imposibilidad de su uso en zonas en pendiente, ni su complejo diseño, etc., (FOSTER *et al.*, 1979).

La tercera generación de simuladores pulverizadores surgió con la intención de reducir la aparatosidad y costes del rainulator. La primera solución para esto fue la de SWANSON (1965), la cual consistía en acoplar las boquillas a un aspersor de molinete móvil para producir lluvia simulada sobre las mismas parcelas del *rainulator*. La mejora en la transportabilidad del simulador de SWANSON fue una obsesión entre los colaboradores del autor, y en diseños posteriores (AUERSWALD, 1986).

A pesar de la mejora en la manejabilidad de los simuladores de la tercera generación, todos ellos estaban diseñados para estudios agronómicos, donde se podían utilizar grandes instrumentos sobre amplias y llanas superficies. Con la cuarta generación de simuladores de lluvia dispersores, se pasa a trabajar con instrumentos más pequeños y manejables, dedicados al estudio de ambientes poco accesibles. Entre ellos el *Infiltrómetro dispersador de Purdue* fue el diseño más conocido (BERTRAND y PARR, 1961). La boquilla utilizada es la 7LA de la Spray Engineering Company, la cual con 120 mm h⁻¹ de intensidad, sólo alcanza el 60 % de la energía cinética de la lluvia natural. Las continuas modificaciones del diseño original han hecho que este simulador sea aún utilizado en la actualidad (MARTINEZ *et al.*, 1979),

estando dedicado especialmente al estudio de la infiltración (SHRINER, 1977; MALEKUTI y GIFFORD, 1978; HAMON, 1979).

La reducción de la intensidad -tan interesante para los estudios de infiltración- fue una de las obsesiones de los investigadores que utilizaban instrumentos de pequeño tamaño durante la década de los 60. Sobre esta idea nació la quinta generación de simuladores, la cual se caracteriza por el uso de discos cortadores de lluvia, que facilitan la producción de gotas de tamaños grandes con bajas intensidades de lluvia (MORIN *et al.*, 1967). En este caso, la boquilla seleccionada (1.5 H30 de la Spraying systems Company) producía gotas de 2,6 mm de tamaño medio, funciona continuamente, y afecta a una superficie de 2 m², aunque la parcela sólo ocupa 1 m². El suelo sólo recibía lluvia de forma intermitente debido a que por debajo de la boquilla se colocó un disco rotatorio con una muesca que cortaba el cono de lluvia y controla la intensidad de la lluvia.

La mayor transformación del disco rotatorio de Morin se introduce con la modificación de la ranura original, la cual es sustituida por cuatro de menor calibre (AMERMAN *et al.*, 1970). Esto producirá que el impacto de la lluvia se produzca cada 0,25 segundos, lo cual es imperceptible para el ojo humano. Con esta innovación Amerman modificó el simulador infiltrómetro de Pardue (BERTRAND y PARR, 1961), el cual anteriormente ya había sufrido diferentes cambios y renovaciones (DIXON y PETERSEN, 1968). Las mejoras en los discos y en la transportabilidad han sido muy importantes (RATWITZ *et al.*, 1972; GIERSON y OADES, 1977; MARSTON, 1982), aunque la modificación más conocida es la llevada a cabo por BUBENZER *et al.*, (1979), en la que se usa una boquilla del tipo 1/4 MH 14 WSQ con el fin de reducir el tamaño de las gotas e imitar la lluvia de la región de Paulose (EE.UU.). La expansión geográfica de este tipo de simuladores ha sido muy importante llegando incluso a los países sudamericanos (PLA, 1978).

Tras el desarrollo de cinco fases en la construcción de simuladores de lluvia se inició una diversificación en los diseños. Esto supuso la aparición de la sexta generación, la cual no tiene una característica común, excepto que el diseño está de acuerdo con los objetivos de la investigación y se tiende a una mejora en la flexibilidad de las componentes del instrumento y su versatilidad (STEINHART y HILLEL, 1966; ANDERSON *et al.*, 1968; HOLLAND, 1969; PONCE, 1975; PONCE y HAWKINS, 1978; JOHNSTON y SUDBERG, 1979; BORK, 1981; HIRSCHI *et al.*, 1981; HODGES y BRYAN, 1982; LARONNE, 1982; PARCKER y SCHUMM, 1982; SCOGING, 1982; LUK *et al.*, 1986; KAMPHORST, 1987; TOSSELL *et al.*, 1987; CALVO *et al.*, 1988; BECHER, 1990).

En algunas ocasiones, se ha preferido una automatización y sofisticación que ha llevado a la construcción de instrumentos de elevados costos (NEIBLING *et al.*, 1981; ONSTAND *et al.*, 1981; BOUYER-BOWER y BURT, 1989; HERLIHY *et al.*, 1990). Estos diseños surgidos mayoritariamente en la década de los 80 están imbricados en la sexta generación, pero, por sus características se pueden clasificar dentro de la séptima generación, en la cual la programabilidad de los simuladores es su mayor innovación. Una de las mejoras con la sofisticación de estos simuladores de lluvia es la posibilidad de cambiar la intensidad de la lluvia durante la realización de los experimentos (LUSBY, 1977; MARIEN y VANDEWIELE, 1986; MILLER, 1987; HIRSCHI *et al.*, 1991), o bien mecanizar el muestreo de la escorrentía, la filtración de ésta, etc., (FOSTER *et al.*, 1982). La inconveniencia de la aparatosidad y reducida movilidad de estos instrumentos, hace que sean utilizados en laboratorio (WILSON y RICE, 1990), mientras que en algunos casos en los que se ha superado (MOORE *et al.*, 1983) van acompañados de equipos de medición automática similares a los utilizados para las lluvias y escorrentías naturales (ESSERY *et al.*, 1987).

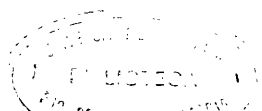
2.6.2.4. Inconvenientes y ventajas de los simuladores de lluvia

La utilización de los simuladores de lluvia está circunscrita al deseo de prescindir de la lluvia natural. Cuatro son las razones para esto: la lluvia simulada es más rápida de producir, más eficiente, más controlada y más adaptable que la lluvia natural (MEYER, 1985).

Respecto a los estudios con lluvia natural, se tiene que tener en cuenta que con la lluvia simulada se reduce el tiempo de experimentación, y con ello, el coste de la investigación. Además, se tiene el máximo control sobre el momento de la medición: estado previo de la parcela, características de la lluvia, evolución posterior, respuesta del suelo, etc. (MEYER, 1979a; RENARD, 1985)

En algunos casos, los simuladores de lluvia son totalmente insustituibles, debido al poco tiempo destinado a la investigación y a la rapidez e irregularidad de los procesos, además de los resultados poco satisfactorios de las metodologías tradicionales (BUBENZER, 1979). En climas como el mediterráneo, donde la escasez de eventos de lluvia podría retrasar la investigación durante años, se hace totalmente necesario el uso de esta técnica.

En último congreso de la U.S.D.A sobre simulaciones de lluvia (1985), el profesor RENARD resumía que las ventajas de esta técnica residían en qué, gracias al grado de control que se conseguía sobre ella, se podía tener acceso a una base de datos de gran calidad en un tiempo relativamente corto.



La simulación de lluvia, a pesar de ser una técnica muy alabada, también tiene sus inconvenientes. Científicamente, se acusa a los simuladores de lluvia de ser poco representativos por ocupar un área muy reducida y no reproducir la lluvia natural con exactitud, además de tener en algunos casos costes elevados tanto en diseño como en mantenimiento (MEYER, 1985).

El tamaño de la parcela es realmente una desventaja si se estudian los procesos a escala de cuenca, pero tanto si se usan a escala de micro-cuencas, de laderas o parte de éstas, de campos de cultivo, como si se usan a escalas menores a la métrica, la técnica es totalmente factible, y diríamos incluso imprescindible en lo relativo a superficies de tamaño reducido (AMERMAN, 1979).

Por lo que respecta a la no reproducción de la lluvia natural, esto se puede entender como una imposibilidad o bien como una pérdida de tiempo el intentarlo, ya que en el caso de necesitar exactamente la misma lluvia simulada que la natural, no sería necesario el simularla, sino tan sólo esperar que ésta se produjera. Además, los estudios con lluvia simulada no pretenden sustituir las investigaciones realizadas con lluvia natural, sino complementarlas. Así, en el caso de trabajos acerca de la respuesta de los ecosistemas ante precipitaciones con largos periodos de recurrencia, sólo pueden ser investigados con lluvia simulada, ya que es imposible diseñar, y mantener un proyecto y un grupo de trabajo en el que el sujeto a investigar, puede o no puede darse en los próximos diez, veinte o cincuenta años (MEYER, 1985).

La existencia de múltiples tipos de lluvia a imitar y su variabilidad (MUTCHLER y MCGREGOR, 1979), hace que lo más coherente sea poder repetir el mismo experimento tantas veces como se quiera, y que el diseño de este, esté de acuerdo con los objetivos de la investigación.

La conclusión para gran parte de los investigadores, es que cuando el tema objeto de estudio está de acuerdo con los presupuestos científicos requeridos por la técnica de la simulación de lluvia, los inconvenientes son insignificantes respecto a las ventajas (NEFF, 1979).

2.6.2.5. Expansión geográfica de los simuladores de lluvia.

Los simuladores de lluvia existen en América del norte desde finales de los años treinta, aunque pronto aparecieron en algunos países africanos de habla inglesa, fruto de la influencia del profesor Hudson. En Europa, aunque existieron con anterioridad, fue en los años 70 cuando empezaron a ser abundantes, especialmente en Inglaterra, Holanda, Bélgica y Alemania. Este último país, cuenta en la actualidad

con la mayor cantidad de simuladores y de grupos especializados en esta técnica, lo cual es fruto, en parte, de la expansión en las dos últimas décadas de simuladores de lluvia hasta en países Sudamericanos, la India (influencia británica), Japón, y ya en los años ochenta países de la cuenca mediterránea. Entre estos últimos, Israel es una clara excepción, tanto por la influencia americana, como por el desarrollo de simuladores de lluvia propios (MORIN *et al.*, 1967).

Los simuladores de lluvia en España aparecieron en la segunda mitad de la década de los 80, por lo que es una técnica muy reciente en nuestro país (CERDA y CALVO, en prensa), especialmente si lo comparamos con los países de habla anglosajona.

Este instrumento ha sido bien recibido entre los investigadores españoles debido a que sus características, costes bajos en relación con otras técnicas, y gran rapidez en la obtención de los datos, se adecuan perfectamente a la problemática del investigador nacional debido, tanto a los pocos recursos económicos, como a la falta de datos sobre el funcionamiento de nuestros ecosistemas.

Hasta el momento en el estado Español, se conocen cuatro modelos de simuladores de lluvia por medio de la bibliografía. Dos de estos aparatos están destinados a experimentos de campo (CALVO *et al.*, 1988; NAVAS *et al.*, 1990) y otros dos al laboratorio (BENITO *et al.*, 1986; SANROQUE *et al.*, 1984). Tenemos referencias verbales de otro simulador de lluvia, el utilizado por el profesor Giraldez en el Departamento de Agronomía de la Universidad de Córdoba, pero del cual no conocemos ninguna publicación.

3. METODOLOGÍA

El diseño metodológico seguido por esta investigación, con el objetivo de caracterizar la capacidad de infiltración de los suelos del País Valenciano, de sus variaciones espaciales y temporales, así como de los cambios estacionales de estas, se ha basado en tres puntos:

- Selección de las zonas de estudio, con el objetivo de que las diez áreas fueran representativas del territorio valenciano y de los procesos de mayor influencia sobre la hidrogeomorfología de los suelos: abandono de cultivos e incendios forestales.
- Realización de los experimentos, de acuerdo con unas especificaciones muy concretas, tanto en las características de éste, como en el periodo y en el lugar en que tenía que ser realizado.
- Homogeneización de los datos y tratamiento de los resultados.

3.1 Elección de las zonas de estudio

En un sentido global, el área elegida para esta investigación es el territorio del País Valenciano, el cual podemos encuadrar dentro de los ecosistemas mediterráneos (DI CASTRI *et al.*, 1981), si bien la elevada diversidad de éstos ha

hecho que se seleccionaran varias zonas de estudio, todas ellas representativas de esta variabilidad.

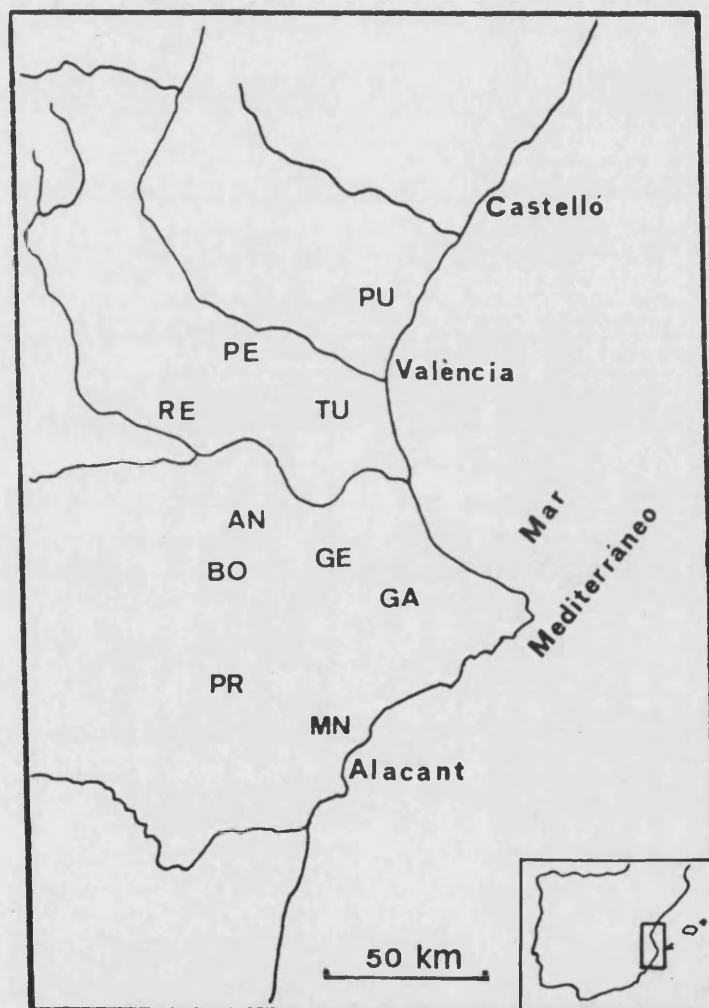


Figura 3.1. Localización de las zonas de estudio. Petrer (PR), Puçol (PU), Genovés (GE), Anna (AN), Monnegre (MN), Bolbens (BO), Pedralba (PE), Torís (TU), Requena (RE) y Vall de Gallinera (GA)

La elección de las diez zonas de estudio, se basó en la influencia de la litología sobre la hidrología de los suelos en particular y sobre el paisaje en sentido global. Por ello se seleccionaron entre las cuencas de drenaje y laderas desarrolladas sobre las cuatro litologías más abundantes del territorio Valenciano (LOPEZ GOMEZ, 1977): calizas (Genovés, Bolbens, Pedralba y Vall de gallinera), margas (Petrer y Monnegre), arcillas (Anna, Torís, Requena y Monnegre), y areniscas (Puçol) (ver figura 3.1).

Además de la litología, en la elección de los paisajes a estudiar también se tuvo también en cuenta la influencia que la orientación contrastada tiene sobre los procesos geomorfológicos en nuestra latitud (CHURCHILL, 1981; 1982; KIRKBY, 1986; LA ROCA *et al.*, 1988; KIRKBY *et al.*, 1990; GONZALEZ HIDALGO, 1992), de ahí que tres de las zonas sean cuencas con orientación E-W (Anna, y Petrer) u W-E (Genovés). Esto, además, nos permitirá la obtención de datos de la respuesta erosiva e hidrológica contrastada dentro de una misma litología.

Algunas zonas de estudio se eligieron para tratar problemas específicos, como son: los incendios forestales (Pedralba y Bolbens) y el abandono de campos de cultivo (Vall de Gallinera). Además dentro de cada zona se seleccionaron subzonas para el estudio de temas concretos: campos de fondo de valle en Torís, Genovés y Petrer, hidrología de los *badlands* sobre arcillas del Keuper (Requena, Torís, Monnegre y Anna) y sobre margas (Monnegre y Petrer), distintas densidades de cubierta (vegetación, pedregosidad, etc.), alteraciones antrópicas como los cortafuegos, etc.

ZONAS DE ESTUDIO	Infiltrómetro	Simulador
	de cilindro	de lluvia
Petrer	58	161
Monnegre	69	132
Anna	96	80
Bolbens	17	75
Genovés	106	118
Puçol	20	48
Torís	22	41
Vall de Gallinera	22	24
Requena	00	09
Pedralba	00	32
Total	410	720

Tabla 3.1 Número de pruebas realizadas por zona de estudio y tipo de experimento

Una vez elegidas las zonas de estudio, y dentro de ellas las subzonas, se determinaron las superficies más representativas: las parcelas. Un criterio geomorfológico, junto a la homogeneidad de las superficies ha estado presente en la selección de todas ellas.

La distribución de las zonas de estudio (ver figura 3.1) abarca prácticamente todo el territorio Valenciano, aunque por motivos de infraestructura no se pudo estudiar ninguna zona en Castellón y en el sur de Alicante.

Se realizaron un total de 1130 experimentos: 410 con infiltrómetro de cilindro y 720 con lluvia simulada. Las pruebas con los infiltrómetros de cilindro se realizaron junto a las parcelas utilizadas para las simulaciones de lluvia, sobre superficies idénticas, ya que el objetivo era comparar los resultados de ambas técnicas. La distribución por zonas de estudio del número de experimentos se muestra en la tabla 3.1, presentándose en los apéndices correspondientes los resultados de éstos, además de las características fisicoquímicas de los suelos y la cuantificación de la cubierta superficial (vegetación, pedregosidad, etc.).

3.1.1. Las areniscas del Bundsenstein: Puçol

Esta zona se ha elegido como representativa de tres grandes espacios montañosos: Desert de les Palmes, Espadán, y Calderona, lugar éste último donde se encuentran los suelos estudiados. En general, estos paisajes se caracterizan por su abundante cubierta vegetal, bajas tasas de erosión y suelos con una alta capacidad de retención hídrica. Esto, se debe esencialmente a las peculiaridades litológicas, pero también al clima con temperaturas suaves y precipitaciones superiores a los 400 mm anuales que permiten el mantenimiento de un bosque de *Pinus halepensis* junto a un matorral muy denso (fotografía 3.1).

La zona de Puçol es la más septentrional de las zonas de estudio y se encuentra al norte de la Provincia de Valencia, en el término municipal de Gilet. Las cuatro laderas estudiadas se encuentran al norte del término municipal de Puçol, y forman parte de la cuenca de drenaje del Barranc de Llopis, el cual está encauzado de forma artificial hacia la acequia de l'Arrip (figura 3.2). En la fotografía 3.1 se muestra una de las laderas estudiadas.

La litología dominante en la zona son areniscas del Bundsenstein, concretamente areniscas ortocuarcíticas (IGME, 1974). El clima se caracteriza por una precipitación media anual de 439 mm en el observatorio de Puçol (Gilet 532 mm) y las temperaturas medias mensuales nunca son inferiores a 10 °C en invierno, y alcanza 23,8 °C en el mes de agosto.

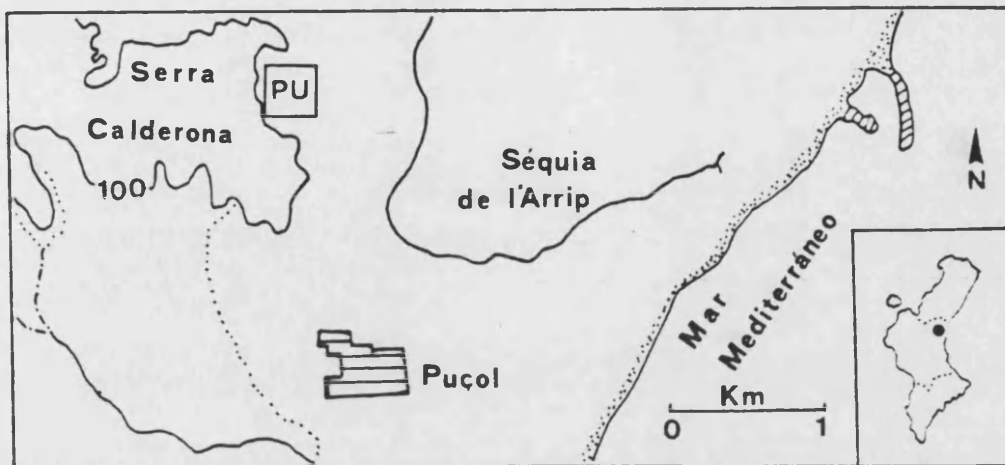


Figura 3.2. Localización de la zona de estudio de Puçol. Areniscas del Bundsanstein

La vegetación está dominada por el matorral, siendo las especies más abundantes *Pistacia lentiscus*, *Erica multiflora*, *Juniperus oxycedrus*, *Chamaerops humilis* y *Rhamnus alaternus*, junto a *Brachypodium retusum* y *Stipa tenacissima*. Algunas especies marcan cierta degradación del medio (*Cistus monpeiliensis* y *Ulex parviflorus*), muy relacionado sin duda por la persistencia de incendios, como lo demuestra la importancia de *Pinus halepensis*.

La laderas en areniscas, como las que aquí presentamos, se caracterizan por una abundante cobertura vegetal con suelos de textura arenosa sobre laderas de fuerte pendiente (30°) y perfiles convexo-recto-convexo o bien convexo-recto (CALVO, 1987). Las vertientes presentan morfologías suaves con zonas deprimidas y realzadas ("hollows" y "spurs").

Los suelos se caracterizan por estar cubiertos, además de por la densa vegetación, por una capa de hojarasca, musgos y líquenes, junto a una importante pedregosidad de gran tamaño (el 90 % son bloques mayores de 20 cm de diámetro). Las variaciones de las características edáficas son poco importantes, apareciendo en todos los suelos un horizonte orgánico muy potente (30-50 cm), de textura muy arenosa (80 % de arena), con un elevado contenido de materia orgánica (2,75-7,02 %), y con pocos carbonatos (menos del 4%).

El horizonte B, presenta una acumulación de arcillas (Bf) mayor al 30 % en todos los casos reduciéndose el contenido de materia orgánica y carbonatos respecto al horizonte superior (Ah) en más del 50 %. En algunos puntos aparecen

acumulaciones de margas amarillentas en la base del horizonte *Bt*, las cuales son fruto de la contaminación de los materiales del Bundsenstein por arcillas del Keuper como lo demuestra el mayor contenido de arcillas (49 %) y de carbonatos (10 %), así como el color 2.5 Y 7/8.

Tanto las variaciones estacionales como espaciales de la morfología superficial de los suelos han sido insignificantes. Sólo el agostamiento de la vegetación y la incorporación de nueva hojarasca es de destacar, no existiendo cambios en las grietas o en cualquier otra característica morfológica.

El horizonte *Ah* presenta una agregación muy pobre mientras que el horizonte *Bt* tiene una estructura poliédrica, muy dura en seco, que favorece la formación de macroporos durante la estación seca.

El diseño experimental consta de siete parcelas dedicadas al estudio de las variaciones estacionales (de PU01 a PU07), habiéndose realizado entre tres y cinco repeticiones (28 experimentos en total) en cada una de ellas en diferentes estaciones del año. Las siete parcelas están distribuidas en tres laderas de diferente exposición, mostrándose en todos los casos altas capacidades de infiltración. El número de experimentos realizados para determinar las variaciones espaciales se ha completado con otras 20 pruebas (de PU10 a PU29), todas ellas a lo largo de dos transectos situados en una vaguada ("hollow"), ratificándose las altas tasas de infiltración con estos experimentos.

3.1.2. Los materiales plásticos del Keuper: Anna, Torís, Requena y Monnegre

Las áreas diapíricas, con afloramientos de arcillas del Keuper, tienen una importante representación en el territorio Valenciano: Pinós, Serra de Crevillent, río Monnegre, Finestrat, Altea, Novelda, Chelva, Macastre-Montroí, Canal de Navarres, Vall d'Ayora, LLucena-Villahermosa y Vall del Palancia son algunos de las más destacadas. En la presente investigación se han realizado experimentos sobre esta litología en cuatro zonas: Requena, Torís, Monnegre y Anna, si bien es en esta última donde se ha realizado un estudio más detallado.

Las cuencas sobre arcillas del Keuper presentan un paisaje muy dispar, ya que en ellas se pueden desarrollar suelos muy degradados, especialmente en zonas con fuertes incisiones o baja pluviometría, o bien suelos muy estables, con bajas tasas de erosión y altas tasas de infiltración.

La zona de Anna se encuentra en el sur del término municipal del mismo nombre, en la comarca de la Canal de Navarres. La cuenca estudiada es tributaria del Barranco del Salado, el cual a su vez lo es del Río Sellent por su margen derecha (figura 3.3). En las fotografías 3.2 y 3.3, se muestra una vista aérea oblicua desde la

cabecera de la cuenca, en la cual se observa como la incisión general de los cauces de la zona sólo ha afectado a la base de la cuenca estudiada.



Figura 3.3. Localización de la zona de estudio de Anna. Arcillas del Keuper

Esta pequeña cuenca es parte de una incipiente red fluvial asentada sobre el afloramiento de arcillas del Keuper de las bandas de la Llosa y Navarres, el cual según diferentes autores es fruto de un diapirismo producido por la fracturación de las capas mesozoicas superiores, que abren el camino a esta ascensión. Es por tanto, un diapirismo sin mecanismos internos, pero en el que las formas del zócalo en forma de Horst y Grabens controlan el proceso, dando lugar a un sustrato en que abundan los materiales plásticos compuestos esencialmente de arcillas y margas, aunque también aparecen estratos en los que abundan yesos, areniscas, calizas y dolomías (IGME, 1980).

El clima de la zona está caracterizado por unas precipitaciones alrededor de los 550 mm de media anual, concretamente 548 mm en el cercano observatorio de Enguera. Para el caso concreto de Anna, y durante el periodo de 1914-1923, el valor es algo superior: 577 mm (KUNOW, 1966). Las temperaturas son similares a las presentadas en el anterior apartado para el observatorio de Puçol, aunque la continentalidad se hace notar por las bajas temperaturas medias de los meses invernales (7,5 °C en febrero).

La cuenca elegida para la investigación es de orden uno, con una extensión de unos 7500 m², de orientación E-W, y con un valle de forma asimétrica. La ladera norte tiene una longitud de 81 m, con una pendiente de 23°, mientras que en la ladera sur la longitud es de 47 m y la pendiente de 30°. Las partes altas de las laderas se encuentran repobladas con *Pinus halepensis* desde mediados de los años 70.

Existe una gran diferencia en la cubierta vegetal entre la ladera norte y la sur, ya que mientras la primera tiene un 70-75 % de la superficie protegida por la vegetación, la segunda sólo alcanza un 10 % (ver fotografía 3.3), si bien entre las partes bajas de ambas ladera, debido a la incisión del cauce y la consiguiente erosión remontante, los suelos están degradados y su cubierta vegetal es insignificante. Las especies dominantes son *Thymus longiflorus*, *Pinus halepensis*, *Brachypodium retusum*, *Sedum sediforme* y *Anthyllis cystisoides*.

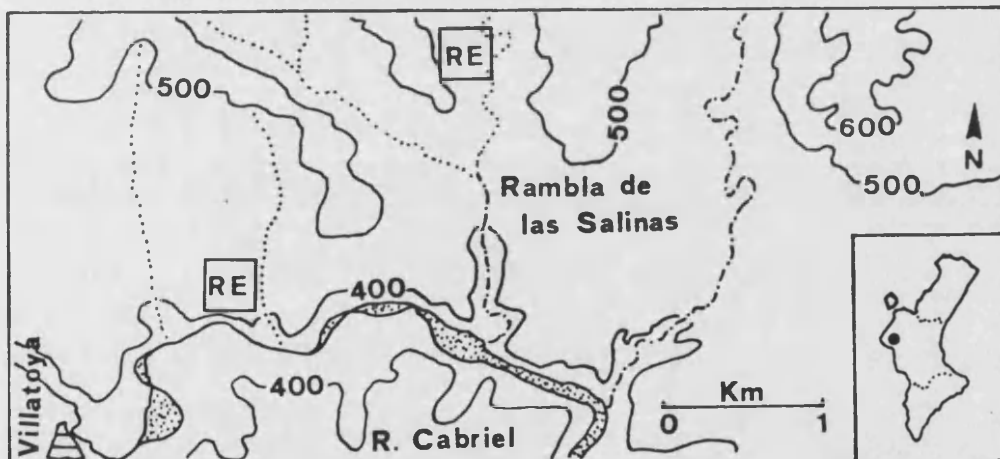


Figura 3.4. Localización de la zona de estudio de Requena. Arcillas del Keuper

En las zonas de estudio de Torís y Requena (figura 3.4 y 3.5) la geología y el clima son similares a la zona de Anna (IGME, 1980a; 1980b), aunque la mayor continentalidad de Requena hace que las temperaturas medias invernales sean más bajas (enero, 5,9°) y las medias estivales más altas (julio, 23,5°). Las medias anuales de precipitación también son inferiores a las de la zona de Anna, 465 mm en Torís, y 446 mm en Requena.

En la zona de estudio de Requena se han elegido parcelas sobre suelos con morfologías superficiales típicas de áreas degradadas (*badlands*): grietas de gran profundidad (2-20 cm), costras poco importantes en densidad pero de gran profundidad (2-3 cm de espesor), abundancia de *rills*, etc. Todas las parcelas elegidas corresponden a superficies de *badlands*, siendo la cubierta vegetal de éstas insignificante, aunque existen otros tipos de suelos más vegetados, especialmente sobre los suelos arenosos del glacis (fotografía 3.4).

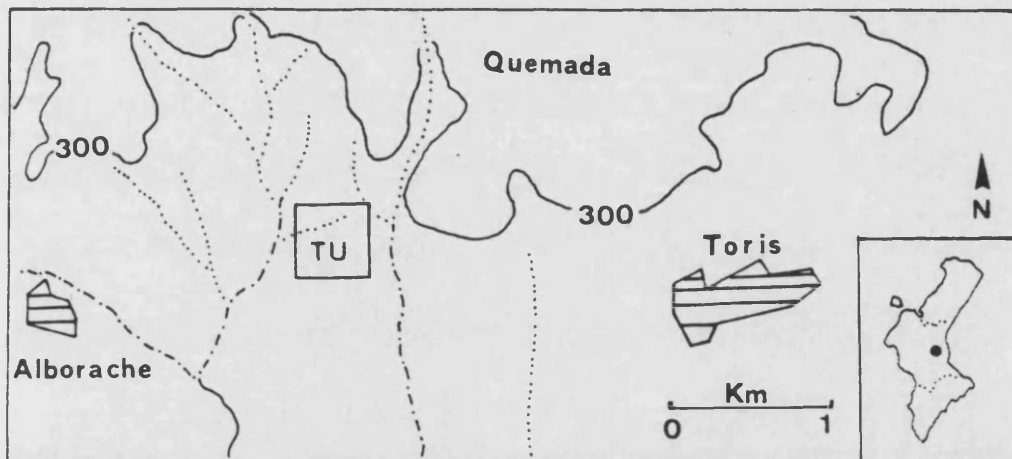


Figura 3.5. Localización de la zona de estudio de Torís. Arcillas del Keuper

En Torís, se seleccionó una cuenca con laderas naturales (sin efectos de repoblaciones forestales), y con campos de cultivo en la base (ver fotografía 3.5). La ladera norte, sobre la cual se centra el estudio, presenta una cubierta vegetal más uniforme que en Anna, pero con las mismas especies, además de *Cistus monspeliensis* y una mayor densidad de *Brachypodium retusum*. En la fotografía 3.5 se puede apreciar la importante cubierta vegetal de la ladera norte, los campos de cultivo en su base y algunas cicatrices de los movimientos en masa, las cuales son consecuencia de las lluvias del otoño de 1989.

Los cambios estacionales en la morfología de las superficies están determinados por la evolución de las grietas, pero al contrario que en Anna, aquí son más persistentes y en ocasiones favorecen la infiltración del agua a niveles lo suficientemente profundos para producir los movimientos en masa. También se han seleccionado superficies de *badlands*, las cuales, como en el caso de Requena, se

caracterizan por grietas profundas (hasta 5-6 cm), costras de gran espesor (1-2 mm) pero bastante porosas, e inexistentes cubiertas vegetales.

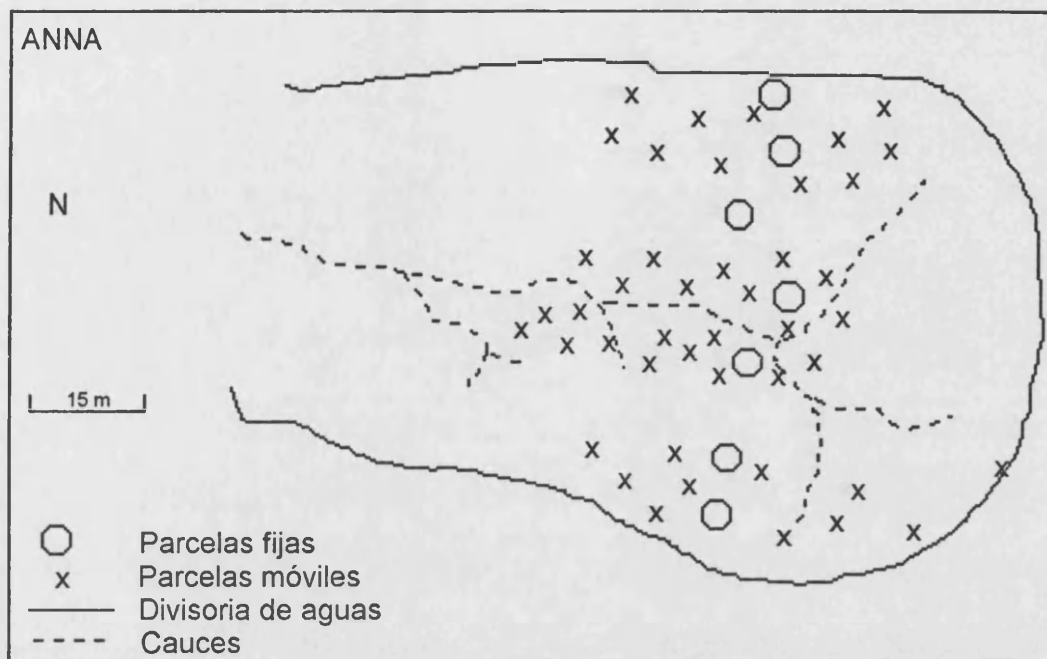


Figura 3.6. Croquis de localización de las parcelas en Anna. Suelos sobre arcillas del Keuper en una cuenca de exposición contrastada e incisión en la base de la ladera

Los suelos sobre arcillas del Keuper se caracterizan en todos los casos estudiados por un bajo contenido en arenas (5,11-24,72 %), siendo limos (14,27-40,35 %) y especialmente arcillas (38,35-67,67 %) los tamaños dominantes en la distribución textural. La materia orgánica del suelo presenta un patrón muy claro de distribución espacial: niveles muy altos en las partes altas de la laderas norte (2-4 %), medios en la parte alta de la ladera sur (1-2 %), y muy bajos en las partes bajas de ambas laderas (< 0,5 %). Los carbonatos presentan una distribución totalmente aleatoria, variando entre 0,82 y 13,94 %.

La cubierta vegetal y la hojarasca presentan variaciones espaciales muy altas, con cambios estacionales determinadas por el agostamiento de las herbáceas.

En la morfología superficial de los suelos en Anna encontramos una fuerte estacionalidad en los agrietamientos, así como una importante variabilidad espacial de las características superficiales. En las partes altas de las laderas, la cubierta de los suelos está dominada por la abundante hojarasca de *Pinus halepensis*. Bajo ésta, sólo aparecen grietas durante los periodos de gran sequedad (verano), siendo muy

profundas (más de 20 cm) y anchas (entre 1-2 cm), no formando polígonos. En las partes bajas, especialmente en la ladera sur, las morfologías predominantes (*badlands*) están caracterizadas por un fuerte agrietamiento durante todo el año, llegando en los periodos secos a formarse grietas de hasta 4-5 mm de anchura, poco profundas (1-2 cm) y conformando polígonos de 10-12 cm.

Al contrario que en Requena y Torís, las características generales de la zona de Monnegre están determinadas por una importante aridez, como detallamos en el apartado 3.1.3.

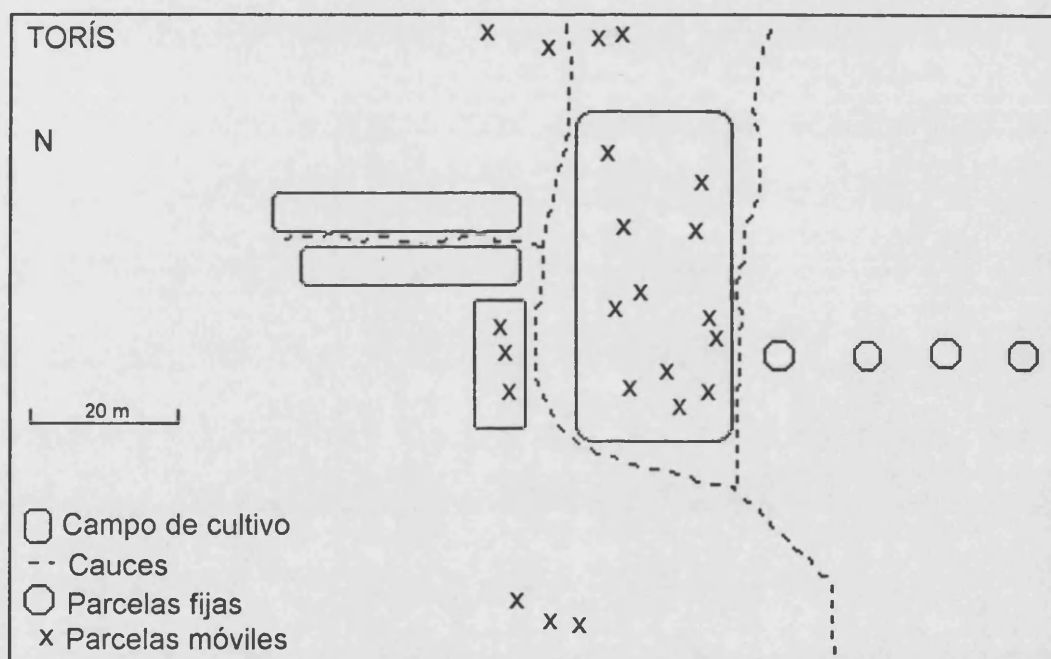


Figura 3.7. Croquis de la localización de las parcelas en Torís. Suelos sobre arcillas del Keuper en tres tipos de superficies: *badlands*, campos de cultivo abandonados y laderas norte muy vegetadas

La estrategia en el muestreo ha determinado la construcción de parcelas fijas para el estudio de las variaciones temporales a lo largo de tres laderas (ver figuras 3.6 y 3.7):

- Ladera sur de Anna (de AN01 a AN04).
- Ladera norte de Anna (de AN05 a AN07).
- Ladera norte de Torís (de TO01 a TO04).

En todas las parcelas se han realizado entre cinco y seis repeticiones en diferentes estaciones con un total de 57 experimentos.

Por lo que respecta al estudio de las variaciones espaciales se ha realizado con un total de 83 experimentos seleccionados según la posición geomorfológica:

- Anna: 43 experimentos durante el verano de 1991 en cuatro partes características de la laderas de la cuenca (ver figura 3.6):

- Ladera NORTE: -Tramo alto: de AN91 a AN99
- Tramo bajo: de AN50 a AN60
- Ladera SUR: -tramo alto: de AN20 a AN 30
- Tramo bajo: de AN10 a AN19
- El experimento AN08 corresponde a una zona de paso.
- Torís: 21 experimentos en los siguientes ambientes (ver figura 3.7):
 - Campos de cultivo abandonado: de TU17 a TU21, de TU22 a TU21, TU19B, TU12, TU13.
 - En zona degradadas: de TU10 a TU12 y TU15, TU16, TU28 y TU29.
- Requena: (de RE01 a RE09) en verano sobre superficies de *badlands*.
- Monnegre, durante el verano de 1991:
 - Superficies degradadas: de MN80 a MN83 y MN93.
 - Superficies vegetadas: de MN90 a MN92 y MN84 y MN20.

3.1.3. Las margas del Senoniense: Petrer y Monnegre

En el País Valenciano, tanto por sus características como por su situación topográfica los sedimentos margosos han sido abancalados en muchas zonas (Vall d'Albaida, La Costera, Vall de Gallinera, Valls d'Alcoi, etc.). En otros espacios, como los elegidos para nuestra investigación, Petrer y Monnegre, aunque muy abancaladas aún se conservan laderas naturales o seminaturales. Los suelos de éstas, en general se caracterizan por bajas cubiertas vegetales, importantes tasas de erosión y bajas capacidades de transmisión hídrica, lo cual viene marcado por la litología y agravado por estar en zonas de baja pluviometría, donde el desarrollo de la vegetación es poco importante.

La zona de estudio de Petrer corresponde a una cuenca de orden uno tributaria del Barranco de los Molinos, el cual a su vez lo es del río Vinalopó por la izquierda (figura 3.8). La zona de Monnegre se encuentra junto al río del mismo nombre, y en ella además de las margas senonienses se ha estudiado la respuesta hidrológica de algunos suelos sobre arcillas del Keuper y sobre margocalizas (figura 3.9).

En Petrer, las calcoarenitas arenosas de los relieves cercanos, de abundante material detrítico y presencia de bioclastos, han generado un glacis muy arenoso y con reducida importancia de los elementos groseros (IGME, 1978a). La erosión de éste, junto a la incisión en las margas inferiores, ha dado lugar a la formación de laderas muy erosionadas, aunque, en ocasiones, la importante cubierta de material arenoso les confiere cierta estabilidad (ver fotografía 3.57). Esta última situación sólo la encontramos en las laderas sur, lo que explica la mayor dinamicidad de los procesos de degradación de los ambientes con esta exposición, como se puede ver

en la fotografía 3.7 de forma global y en la 3.56 de forma detallada para las morfologías de ladera y *pediment* de *badland*.

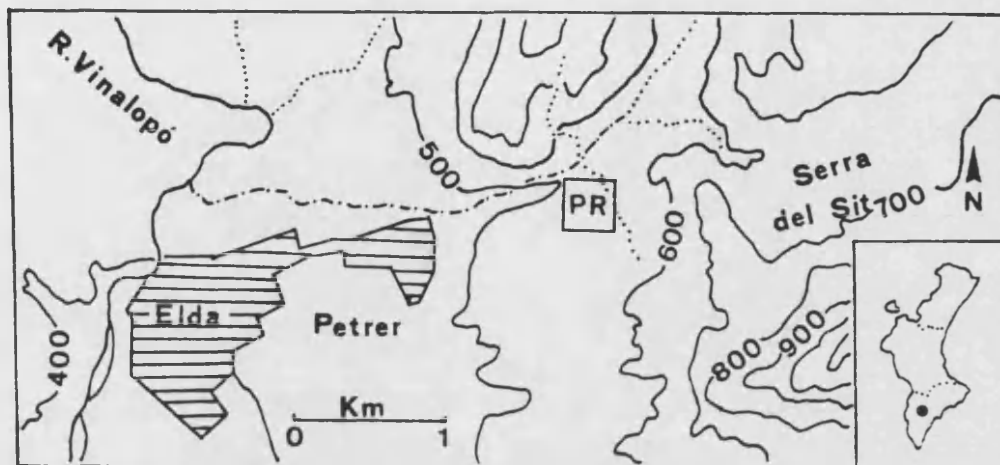


Figura 3.8. Localización de la zona de estudio de Petrer. Margas senonienses

Otros ambientes estudiados en Petrer son los campos de cultivo de fondo de valle, los cuales están sufriendo un intenso acaravamiento (ver fotografía 3.8), así como las laderas norte vegetadas, las cuales en su base están sufriendo un importante proceso de degradación (ver fotografía 3.26).

En el caso de Monnegre, aunque con restos de un glacis en la parte alta de las cuencas estudiadas, el desmantelamiento de éste y la fuerte incisión de la red hidrográfica no ha permitido la formación de laderas estables. En general, la zona se caracteriza por la existencia de diferentes terrazas fluviales, con una evolución cuaternaria muy rápida fruto de la fuerte incisión del río Monnegre (PAYA, 1991), favorecida sin duda por la dinámica diapírica de la zona (IGME, 1978). La incisión de la red de drenaje ha favorecido el desmantelamiento de los depósitos de ladera y fluviales, dejando materiales más erosionables como las margas del Senoniense en superficie (fotografía 4.6). La actual red de drenaje, jerarquizada a partir del río Monnegre, es fruto de la captura de alguna zona lagunar (PAYA, 1991), estando caracterizada en la actualidad por una fuerte incisión, lo que explica el fuerte acaravamiento (ver fotografía 3.6).

El clima de ambas zonas, Petrer y Monnegre, es muy árido, con precipitaciones medias anuales que no superan los 300 mm, y con variaciones interanuales muy fuertes. En el observatorio de Monover, representativo de la zona de Petrer, se

registra una media anual de precipitaciones de 290 mm, no existiendo en éste caso una exagerada concentración de lluvia en el mes de octubre, como sí ocurre al norte de la alineación montañosa del Prebético (zonas de Bolbens, Genovés, Vall de Gallinera y Anna). En cambio, si existe un segundo máximo anual de precipitaciones retrasado hacia el mes de mayo.

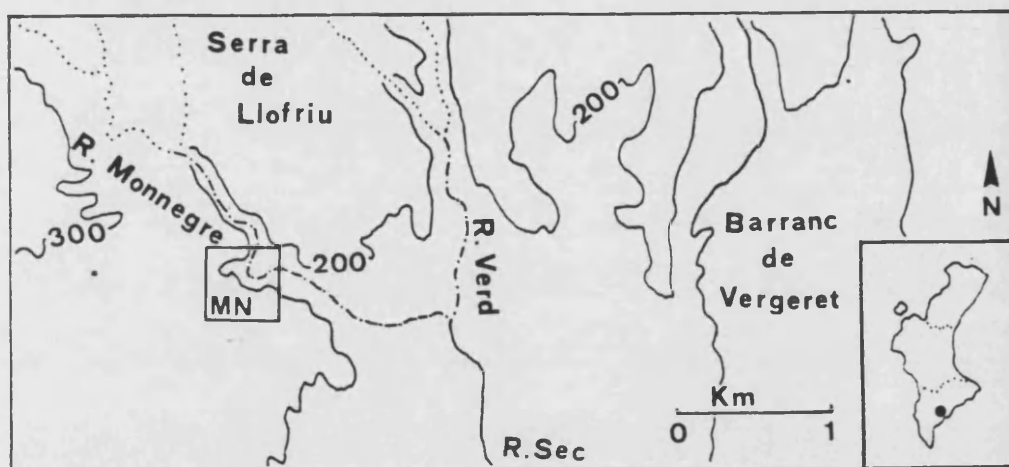


Figura 3.9. Localización de la zona de estudio de Monnegre. Margas senonienses

Las temperaturas medias mensuales, tanto las máxima como la mínima, son muy altas (enero: 11,4 °; agosto: 25,7°, para el cercano observatorio de Alicante), aunque en invierno la altitud a la que se encuentra Petrer, superior a los 500 m, hace que la temperatura media mensual del mes de diciembre sea tan sólo de 5,6 °C.

La vegetación de la zona se puede considerar como típica de praderas secas (LOPEZ GOMEZ y ROSELLO VERGER, 1978), la cual está muy determinada por la fuerte aridez y el agostamiento veraniego. La baja cubierta vegetal, es un factor característico de estas dos zonas, como también lo es una marcada diferencia entre la ladera sur y la norte (GARCÍA-FAYOS y RECATALÀ-ROMERO, 1992)

En las laderas sur, la cubierta vegetal no alcanza el 2 %, y está poblada únicamente por *Moricandia arvensis*, especie asidua en suelos salinos y desnudos, denominada en la zona "coletxó" (CLIMENT y GINER, 1985). En cambio, cuando los aportes de los glaciares cubren la ladera (caso de Petrer), la vegetación es más abundante, llegando a cubiertas superiores al 20 %. Además, aparecen nuevas especies, *Lygeum spartum*, *Sedum sediforme*, *Heliantenum lavandulifolium*, *Fumana Thimifolia*, *Stipa tenacissima*, *Salsola ginestoides*, *Astragalus monspeliensis*,

Echinops ritro, y *Brachypodium retusum*, así como una cubierta de líquenes (esencialmente "*collema*") y musgo de bajo porte, los cuales favorecen la formación de una costra protectora.

La vegetación en la ladera norte es más abundante, 85-95 %, aunque hay puntos donde por causas litológicas, retroceso de cabeceras de *rills*, etc., es menor. También aparecen otras especies, *Coronilla minima*, *Dorycnium pentaphilum*, *Bupleurum subfruticosum*, *Polygala calcaria*, *Centaurea scariosa*, *Helichrisum stoechas*, *Fumana ericoides*, *Astragalus hispanicus*, junto a las más comunes *Sedum sediforme* y *Brachypodium retusum*. En las zonas de mayor estabilidad, y humedad la formación evoluciona hacia un matorral, en el aparecen *Rhamnus lycioides* y *Erica multiflora*, el cual aunque poco importante superficialmente es de gran interés geomorfológico por estar asociado a laderas estables. En esta ladera norte, también encontramos líquenes (*Squamarina lentigera*), caracterizados por su morfología escamosa y esponjosa y asociados a musgos, al contrario que los de la ladera sur, lisos y compactos (*Collema*).

En la zona de Petrer, existen terrazas de cultivo en el fondo del valle, todos ellos asociados a una infraestructura compleja (BERNABE, 1989). En estos campos, actualmente abandonados, la vegetación está caracterizada por las siguientes especies: *Phragmites australis*, *Daphne gnidium*, *Orobanche*, *Inula viscosa*, *Dactylis glomerata*, *Foeniculum vulgare*, *Cistus albidus*, *Salsola ginestoides*, *Hypparihenia hista*, *Coris ginestoides*, *Limonium sp.* y *Ephedra fragilis*, etc., mientras que *Anthyllis cystisoides* sólo aparece en algunas zonas de tránsito. En los campos abandonados aparecen prácticamente todas las especies que encontramos en las laderas, si bien la cubierta es inferior al 40 % y en los espacios donde los acarcamientos se han desarrollados con rapidez las cubiertas vegetales aún son inferiores, como se muestra en la fotografía 3.8.

Algunas de las superficies de las áreas de Petrer y Monnegre las podemos clasificar geomorfológicamente como *badlands* (CALVO *et al.*, 1991), no sólo por la morfología superficial de los suelos y la baja cubierta vegetal, sino también por la existencia de valles cortos en forma de v, laderas escarpadas con *pediments* en la base y existencia de *piping* (BRYAN y YAIR; 1982) (ver fotografías 3.7, 3.30, 3.32 y 3.36) . La evolución de las laderas ha estado sin duda ligado a las acumulaciones propiciadas por los abancalamientos en el fondo del valle (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, 1992), como también lo estarán en el futuro por el abandono y degradación de éstos.

En Petrer, las laderas son cortas (40-50 m) y sus pendientes son muy elevadas (35-45°), siendo la exposición contrastada de los valles el factor que controla las diferencias espaciales existentes en la cobertera vegetal y la morfología de las

laderas. En Monnegre, la incisión de los cauces, es el factor más relevante, quedando la influencia de la exposición en un segundo plano.

Las características generales de los suelos en ambas zonas son:

- Reducido contenido de materia orgánica, con la excepción de la ladera vegetada de orientación norte (3,2 %).
- Elevado porcentaje de la fracción limo (50-60 %). Sólo en puntos concretos hay acumulaciones de arena: glacis y áreas de derrubios de éste, campos abandonados y *pediments*, aunque siempre el contenido es inferior al 40 %.
- Alto contenido en carbonato cálcico (60-70 %), especialmente en los suelos menos desarrollados o más degradados (ladera de *badlands*).

La reducida cobertura vegetal, junto a las anteriores características, hace que la existencia de costras sea un factor muy importante en la explicación del comportamiento hidrológico-erosivo de estos suelos, como también lo es la existencia de grietas y patrones dobles de éstas en forma de polígonos, especialmente en los suelos menos desarrollados y con mayores contenidos en arcilla.

La estrategia de muestreo se basó en la realización de gran cantidad de experimentos por la alta variabilidad espacial de los suelos. Entre las zonas de Monnegre y Petrer se han instalado 48 parcelas fijas, lo que ha supuesto 227 experimentos (entre 2 y 8 repeticiones por parcela). Además se han realizado 66 experimentos con parcelas móviles para completar el estudio de las variaciones espaciales (ver figuras 3.10 y 3.11 para la localización de las parcelas).

En el caso de Petrer se han distinguido seis tipos de superficies representativa:

-Ladera norte vegetada: de PR32 a PR43 y PR45 con parcela móviles (experimentos en verano) y PR02 (8), PR16 (3), PR17 (2), PR18 (2), PR25 (2), PR26 (2), PR27 (2) y PR29 (2), con repeticiones en diferentes estaciones. El número de repeticiones aparece entre paréntesis para cada parcela.

-Superficies degradadas (*BADLAND*) en ambas laderas. Los experimentos realizados con parcelas móviles son, de PR72 a PR78. Respecto a las parcelas en las que se han seguido las variaciones temporales son las siguientes: PR08 (6), PR10 (4), PR11 (4), PR13 (5), PR14 (6), PR15 (5), PR19 (2), PR23 (5), PR24 (4), PR28 (3), PR30 (3), PR31 (1). La última parcela es en realidad el quinto experimento de PR11, ya que es la misma superficie, pero debido al vandalismo se tuvo que volver a construir la parcela, variándose el área de esta.

-*Pediments* de *badlands*: una parcela fija, PR22 (4) y cinco móviles (de PR95 a PR99).

-Ladera sur (sobre materiales arenosos del glaci). Las parcelas destinadas al estudio de las variaciones temporales han sido PR03 (6), PR04 (6), PR05 (6), y las parcelas móviles PR50 y PR51.

-Los campos de cultivo del fondo de valle han sido caracterizado a partir de cinco experimentos durante el verano PR60, PR61, PR62, PR63 y PR65, y con tres parcelas fijas PR20 (4), PR21 (3) y PR09 (4).

-**Enlosados**, caracterizados por la elevada cubierta de fragmentos de roca (RUIZ-FLAÑO, 1992). Estos han sido PR01 (6), PR06 (3), PR07 (3) y PR12 (4) como parcela fijas, además de PR71, parcela móvil.

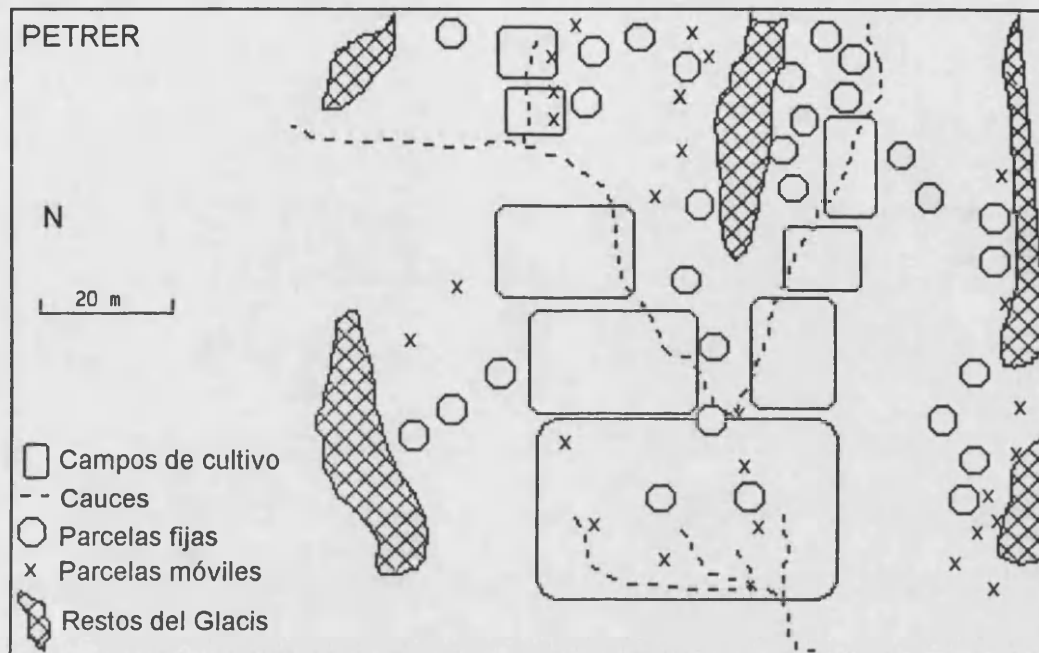


Figura 3.10. Croquis de la localización de las parcelas en Petrer. Suelos sobre margas del Senoniense, con fuertes abarrancamientos y con morfologías típicas de *badland*. En los fondos de los barrancos hay campos de cultivo abandonados y asociados a estos últimos *pedimentss*. Las laderas, en puntos muy concretos, están recubiertas de derrubios arenosos del glacis, lo que en la ladera sur coincide con las superficies ligeramente vegetadas (20 %)

En **Monnegre** la característica más importante en la elección de las parcelas ha sido la cubierta vegetal:

-MN01 (6), MN11 (6), MN12 (6), MN13 (6) y MN18 (6), corresponden a diferentes morfologías de **superficies desnudas (BADLANDS)**. De MN19 a MN39 para parcelas móviles.

-MN04 (5), MN09 (6), MN10 (5), MN14 (5), MN15 (6) y MN03 (5) a suelos con **cubierta vegetal intermedia (40-70 %)**. MN42 y MN43 como parcelas móviles.

-MN05 (5), MN06 (5) y MN07 (5) con una abundante **cubierta de piedras o enlosados**.

-MN16 (7), MN17 (5) y MN08 (5) con cubierta vegetal de **plantas y matorral** muy importante (> 80 %). MN40 y MN41 como parcelas móviles.

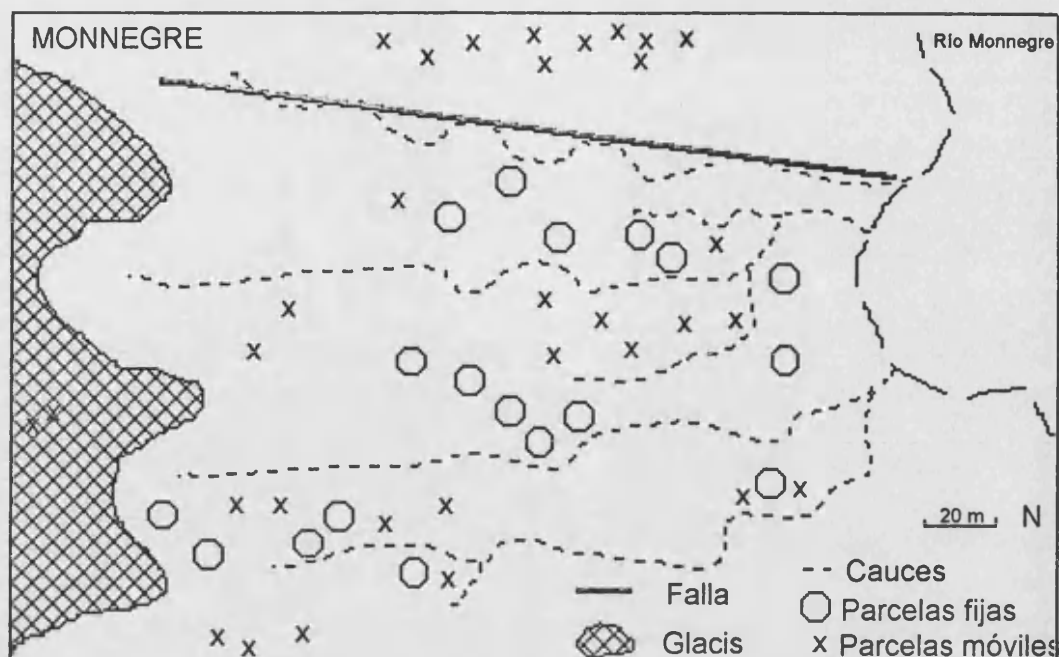


Figura 3.11. Croquis de la localización de las parcelas en Monnegre. Suelos sobre margas del Senoniense, con fuertes abarrancamientos y morfologías típicas de *badlands*. Los materiales al norte de la falla señalada corresponden a arcillas y yesos del Keuper

3.1.4 Las calizas: Genovés, Bolbens, Vall de Gallinera y Pedralba.

Las calizas, junto a las dolomías, son la litología más abundante del territorio Valenciano. Los potentes paquetes de materiales jurásico y cretácico han dado lugar a grandes conjuntos montañosos: Caroig, Serra Grossa, Aitana, Mariola, Bèrnia, Benicadell, etc., los cuales están representados aquí por la zona de Genovés en un sentido global, aunque para problemáticas concretas, como los incendios forestales y el abandono de cultivos se han diseñado investigación paralelas en Bolbens, Pedralba (incendios) y la Vall de Gallinera (abandono de cultivos). Normalmente, estos suelos son bastante estables, aunque factores como la exposición y el impacto antrópico pueden alterar las bajas tasas de erosión y los altos niveles de retención de agua.

La zona de Genovés se encuentra al sur de la provincia de Valencia, en el término municipal del mismo nombre, a una altura entre 300 y 370 m. s. n. m. La cuenca estudiada es la drenada por el Barranc de la Serra de la Creu, afluente por la derecha del río Albaida (figura 3.12).

La cuenca estudiada se encuentra situada en su totalidad sobre calizas masivas del Campaniense (IGME, 1981). Las precipitaciones, 688 mm en el cercano observatorio de Xàtiva, están influenciadas por la situación al norte de la alineación

montañosa de las Béticas, y por su cercanía a la zona de máximas precipitaciones del País Valenciano (PENYAROJA, 1992).

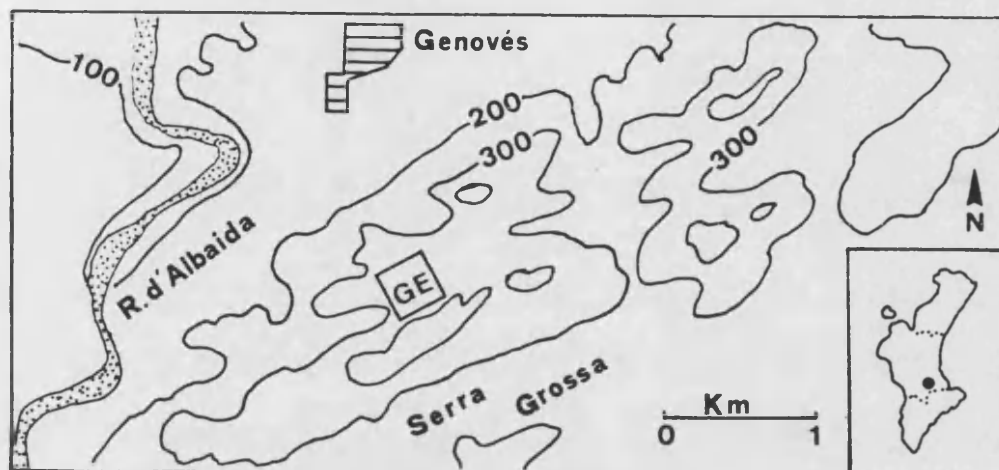


Figura 3.12. Localización de la zona de estudio de Genovés. Calizas del Campaniense

Es de destacar, la importancia de las precipitaciones del mes de octubre, el cual alcanza el 20 % de las lluvias anuales, y en casos extremos, la precipitación diaria puede ser superior a la precipitación media anual. La temperatura media del mes más frío (enero) es de 9,9 °C, y la del mes más cálido (agosto) de 26,7 °C.

Las laderas de la cuenca, debido a la exposición contrastada, tiene diferencias importantes en cuanto a la cubierta vegetal: un 70-75 % en la ladera sur y un 90-95 % en la ladera norte. En la fotografía 3.9, se muestra la ladera sur, en la cual tras el inicio del estudio se construyó un camino forestal, y en la que a la menor cobertera vegetal se une un mayor número de afloramientos rocosos.

Especies como *Thymus vulgaris*, *Erica multiflora*, *Chamaerops humilis*, *Rosmarinus officinalis*, *Quercus coccifera*, *Sedum sediforme*, *Pinus halepensis* y *Globularia alypum* aparecen en toda la cuenca, mientras que *Anthyllis cystisoides*, *Citrus albidus*, *Ulex parviflorus*, *Cistus monpelienis* y *Olea europaea*, se concentran en los campos abandonados. *Rhamnus lycioides*, *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum*, y *Thymus piperella* sólo aparecen en la ladera sur, y *Arbustus unedo* y

Rhamnus alaternus, junto a una mayor cantidad de *Brachypodium retusum* en la ladera norte.

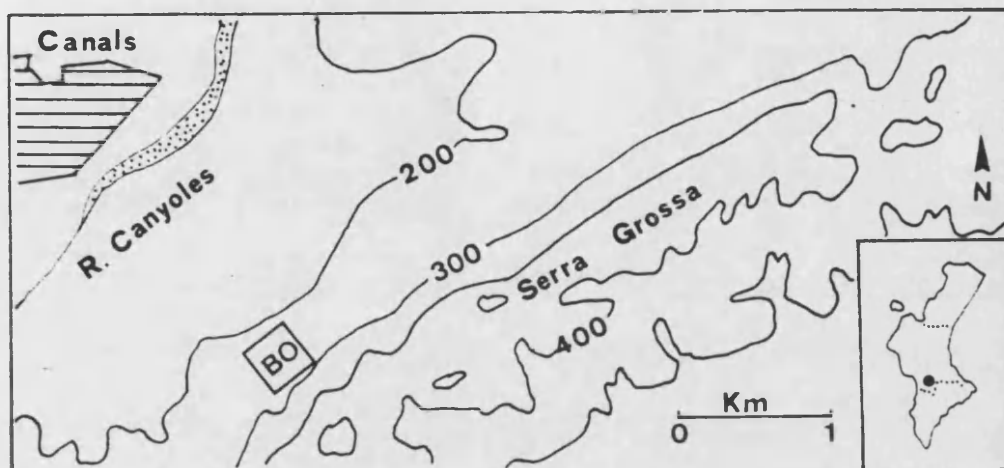


Figura 3.13. Localización de la zona de estudio de Bolbens. Calizas del Campaniense

En la ladera sur, se ha producido una regeneración espontánea de *Pinus halepensis* como se puede ver en la fotografía 3.9, mientras que en la norte es el matorral el dominador del paisaje vegetal.

Estas montañas sufrieron un incendio forestal en 1981, quedando restos de carbones en los suelos, así como restos de la erosión del horizonte orgánico en la ladera sur, en la cual se construyó un cortafuegos en el verano de 1991.

La geomorfología de la zona está caracterizada por la existencia de laderas con una concavidad basal, una convexidad en la cima y un tramo recto en la parte media. La gran cantidad de arcillas y limos rojos depositados en la base son una muestra de la desconexión de la base de la ladera de los cauces actuales, lo cual no deja de ser algo excepcional en las laderas del País Valenciano (CALVO, 1987). En la concavidad basal, la acumulación de "terra rossa" ha favorecido el abancalamiento para el cultivo de olivos, explotaciones que en la actualidad están abandonadas.

La zona de **Bolbens** se encuentra al sur del término municipal de Canals, teniendo sólo una ladera norte, la cual drena directamente al río Canyoles (del Albaida). Esta zona, tiene las mismas características climáticas que las que se encuentran en el valle de Genovés, no en vano se encuentra en la misma alineación montañosa que el valle de Genovés, a tan sólo 9 Km. La única diferencia es que en esta zona se produjo un incendio forestal el 1 de agosto de 1989, iniciándose seis meses después el estudio de la evolución de la infiltrabilidad de los suelos. En este caso, la vegetación se ha regenerado con rapidez, y en la actualidad presenta una flora semejante a la de Genovés, aunque la cubierta es menor y está dominada por herbáceas en lugar del matorral. La fotografía 3.10 muestra el estado de la zona tres años después del incendio, caracterizado sin duda por la rápida revegetación de los suelos.

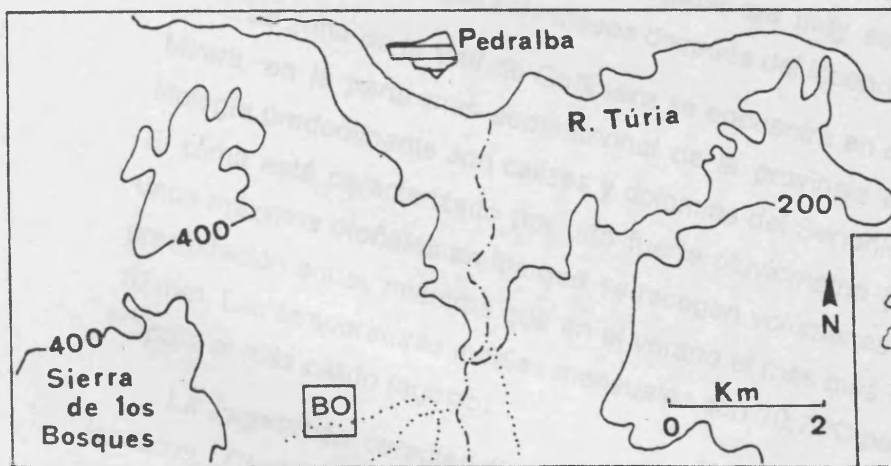


Figura 3.14. Localización de la zona de estudio de Pedralba. Conglomerados terciarios

La zona de estudio de **Pedralba** se encuentra al sur de la localidad del mismo nombre, al oeste de la ciudad de Valencia, en la Sierra de los Bosques. La cuenca elegida es de orden uno, de orientación 40 N y desarrollada sobre conglomerados calcáreos terciarios muy cementados. Toda la zona, sufrió un incendio forestal los dos primeros días de agosto de 1990, iniciándose inmediatamente la realización de los experimentos con lluvia simulada, y el seguimiento de la evolución de la infiltrabilidad de los suelos.

El clima es similar al de Genovés, pero con precipitaciones inferiores (414 mm en el cercano observatorio de Vilamarxant), y con temperaturas semejantes, 10,2° y

25,8°, respectivamente para las medias mensuales mínimas y máximas. Las laderas son convexo-recto-convexas, con una acumulación artificial en el fondo del valle, destinada a la construcción de campos de algarrobos (*Ceratonia siliqua*), en la actualidad abandonados.

Antes del incendio, la vegetación estaba compuesta por un bosque de *Pinus halepensis* y matorral dominado *Quercus coccifera*, *Pistacea lentiscus*, *Chamaerops humilis* y *Rhamnus lyciodes*. La regeneración de la vegetación ha sido bastante rápida en los últimos dos años, primero con las herbáceas, luego el rebrote de diferentes especies arbustivas, y finalmente la aparición en primavera de nuevas plantas a partir de la germinación, siendo especialmente importantes los pinos.

Esta misma evolución, se ha observado en la ladera de Bolbens, donde la regeneración de pinos no fue tan abundante, y en la que no se produjo la extracción de la madera. La revegetación ha sido muy rápida en ambas zonas, si bien el año posterior al incendio la cubierta vegetal era muy escasa, como se muestra en la fotografía 3.11, tomada seis meses después del incendio forestal.

La zona de la Vall de Gallinera se encuentra en una ladera sur de la Serra del Mirant, en la parte más septentrional de la provincia de Alicante (figura 3.11). La litología predominante son calizas y dolomías del Senoniense superior (IGME, 1981). El clima está caracterizado por una fuerte pluviometría (985 mm en Tormos) y por unos máximos otoñales en los que se recogen volúmenes que rondan el 25 % de la precipitación anual, mientras que en el verano el mes más seco, julio, no alcanza los 10 mm. Las temperaturas medias mensuales son 10,7 °C para el mes más frío y 25,5 °C para el más cálido (agosto).

La vegetación característica está compuesta por *Quercus coccifera*, *Pistacea lentiscus*, *Chamaerops humilis*, *Rosmarinus officinalis*, *Rhamnus alaternus*, etc., (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1991).

La principal característica de esta zona radica en el intenso abancalamiento de las laderas, si bien, en la actualidad, el proceso dominante es el abandono de los cultivos. En la fotografía 3.14 se muestra la zona de estudio, en la cual los anchos muros (>1 m) con su reiterada presencia confieren una particular consistencia.

Los suelos tienen características semejantes en las cuatro zonas (ver apéndice D), pero también encontramos peculiaridades debido esencialmente a la acción antrópica, ya que en la Vall de Gallinera no existe horizonte orgánico. Con la excepción de los suelos roturados y los decapitados (erosión del horizonte orgánico), el contenido en materia orgánica es superior al 2 %. Especialmente en la ladera norte, se encuentran suelos con horizontes argílicos en profundidad (47 % de arcilla

en los casos extremos), mientras que los horizontes superficiales se caracterizan por los elevados contenido en arena (> 50 %).

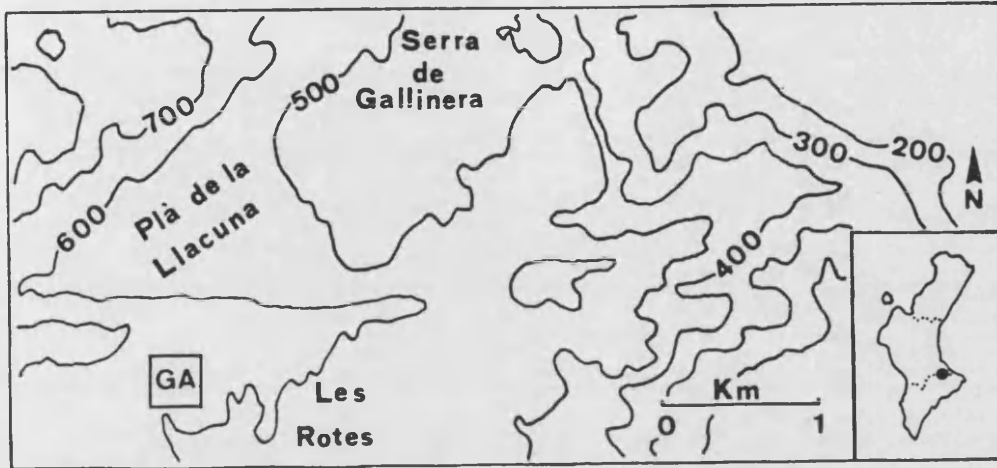


Figura 3. 15. Localización de la zona de estudio de la Vall de Gallinera

La estrategia de muestreo se basó en un estudio amplio y exhaustivo en Genovés, a la vez que un estudio detallado en base a los estudios específicos realizados en ellas: influencia de los incendios y del abandono de los cultivos. Concretamente en Genovés, se colocaron siete parcelas para seguir los cambios estacionales: GE01 (4), GE02 (4), GE03 (5), GE04 (4), GE05 (4), GE06 (5) y GE07 (4). Además se realizaron diversos experimentos con parcelas móviles en cada una de las partes de las ladera norte y sur, así como en el fondo del valle donde están las terrazas de cultivos abandonados (ver figura 9.16):

- | | |
|-----------------|--|
| Ladera norte: | -Parte alta: de GE50 a GE57 |
| | -Parte media: de GE60 a GE67 y de GE47 a GE49. |
| | -Parte baja: de GE70 a GE79. |
| Ladera sur: | -Parte alta: de GE30 a GE39 |
| | -Parte media: de GE20 a GE29 y de GE41 a GE43 |
| | -Parte baja: de GE10 a GE19 |
| Fondo de valle: | -De GE80 a GE89 |

Además, se repitieron algunas pruebas tras haberse eliminado la pedregosidad superficial: GE18P, GE20P, GE37P, GE52P y GE53P, o bien con suelos muy húmedos tras la lluvia simulada (55 mm en total para cada experimento) y de 24 mm de lluvia natural caídos en la noche del 10 al 11 de agosto de 1991. La nomenclatura de estas parcelas es GE61B, GE62B, GE70B y GE86B.

En Bolbens, se colocaron doce parcelas a lo largo de la ladera, sobre las cuales se han realizado repeticiones de experimentos entre cinco y ocho veces en los tres últimos años (75 experimentos en total). Cinco de las parcelas están distribuidas en el sentido de la pendiente siendo denominado el grupo como Transecto (de BO00 a BO04) y el resto (de BO05 a BO11) en la parte media de la ladera. Estas últimas, están colocadas en función de diferentes especies vegetales, con el fin de conocer con detalle la influencia de cada una de ellas sobre

la evolución estacional de la infiltrabilidad de los suelos tras el incendio forestal y su hipotética recuperación, por lo que se las ha denominado **Especiales**. Además, se realizaron tres experimentos con parcelas móviles en esta misma parte media de la ladera (de BO12 a BO14).

En **Pedralba** el muestreo fue muy simple: cinco parcelas (de PE01 a PE05) a lo largo del valle, realizándose experimentos dos veces por año, una en periodo seco y otra en húmedo.

En la **Vall de gallinera** la estrategia de muestreo se basó en la realización de al menos tres experimentos en campos de cultivo con diferentes edades de abandono. La distribución de las parcelas es:

- Campos de cultivo en activo: GA01, GA02, GA02B, GA03.
- Campos abandonados un año: GA10, GA11 y GA12
- Campos abandonados cinco años: GA20, GA21, GA22 y GA22B.
- Campos abandonados diez años: GA30, GA31 y GA32.
- Campos abandonados veinte años: GA40, GA41 y GA42.
- Campos abandonados veinte años e incendiado: GA50, GA51 y GA52 .
- Campos abandonados veinte años y con abundante pedregosidad: GA60, GA61 y GA62.

Junto a las fotografías de las zonas de estudio, al final de este capítulo se presenta una muestra fotográfica de los suelos estudiados más representativos.

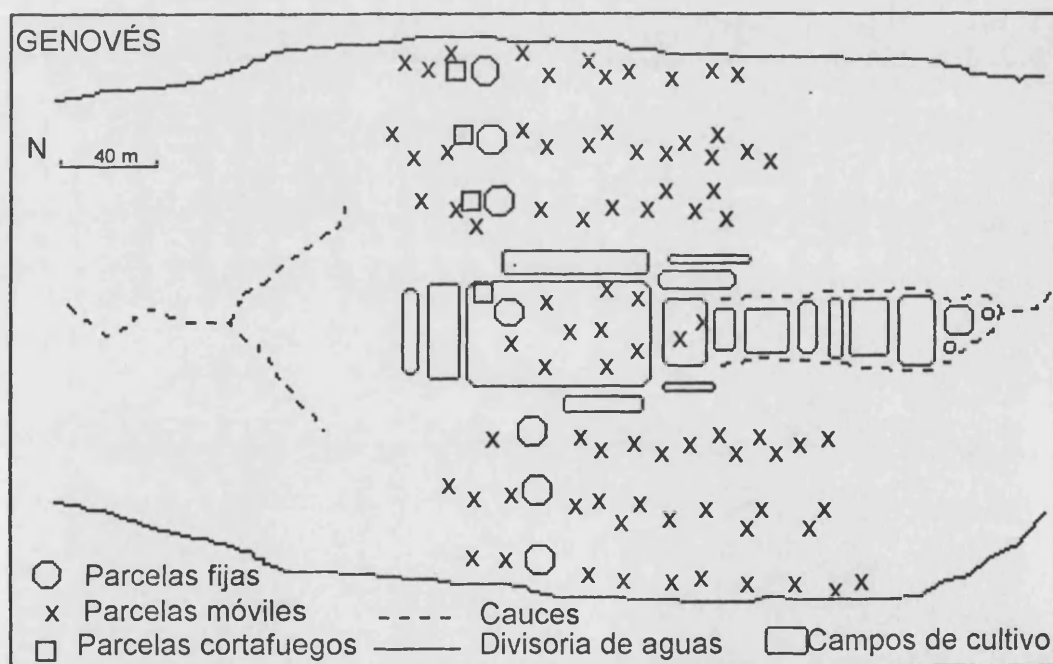


Figura 9.16. Croquis de la localización de las parcelas en Genovés. Suelos sobre arcillas del Campaniense en una cuenca de exposición contrastada con una elevada cubierta vegetal de matorral y campos de cultivo abandonados en las bases de las laderas.

3.2. Métodos y técnicas

La presente investigación ha comportado el uso de diferentes métodos y técnicas. En el trabajo de campo se han realizado: simulaciones de lluvia, mediciones con infiltrómetro de cilindro, descripción de los perfiles y las superficies de suelos, inventarios botánicos y descripción general de la zona. En el laboratorio, además de la medición de las variables más características de la escorrentía (volumen, concentración de sedimentos y conductividad eléctrica), se han realizado los análisis de las principales características de los suelos (textura, materia orgánica, densidad, carbonatos, porosidad y estabilidad de los agregados). Y por último en el análisis de los datos, además del tratamiento de la información, se ha realizado un tratamiento estadístico basado esencialmente en estadística descriptiva y en regresiones y correlaciones, así como en la visión gráfica de los resultados, la cual permite una mejor y más rápida comprensión al lector del comportamiento de la infiltración.

Para la medición de la infiltración en los suelos, se han utilizado dos técnicas: una con encharcamiento artificial (infiltrómetro de cilindro) y otra con reproducción de la lluvia natural (simulador de lluvia).

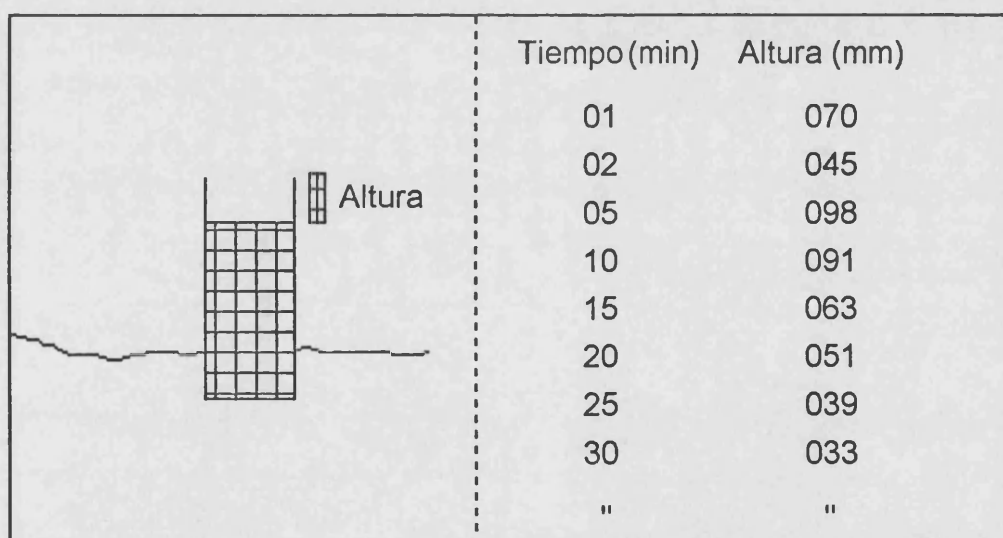


Figura. 3.17. Ejemplo de medición con el infiltrómetro de cilindro simple. Tras cada medición se realiza un nuevo encharcamiento del cilindro, hasta que se da por concluido el experimento con la estabilización de la tasa de infiltración, aunque normalmente, se mantenía la medición hasta una hora como mínimo

3.2.1. Infiltrómetro de cilindro

El instrumento utilizado ha sido un cilindro simple de metacrilato de 15 cm de altura y 7 cm de diámetro. Se eligió este material por su resistencia y transparencia, la cual nos permitía conocer las posibles irregularidades sufridas durante el experimento, así como medir la altura del agua con mayor precisión. En las fotografías 3.14 y 3.15 se muestra el infiltrómetro de cilindro durante la realización de una prueba.

La técnica utilizada para el cálculo de la infiltración se basa en el encharcamiento del cilindro, y la medición de la altura de agua infiltrada en cada intervalo de tiempo, por lo que la columna de agua no es constante. Aunque, también se mide en el minuto 1 y 2 para conocer los cambios temporales de la tasa de infiltración con más exactitud, las mediciones se hacen regularmente cada cinco minutos, como se muestra en la figura 3.17. Tras cada medición, se realiza el relleno del cilindro y la humectación de la zona colindante, como aconsejan algunos autores (HARVEY, 1982).

3.2.2. Infiltrómetro de lluvia simulada

La utilización de las técnicas de simulación de lluvia ha comportado la remodelación del simulador de CALVO *et al.*, (1988) para adecuarlo a las necesidades de la investigación. Además, se diseñaron parcelas fijas de tamaño reducido, construidas a partir de componentes que no alteren el suelo, y que han dado muy buenos resultados, durante los cuatro años que ha durado el estudio.

3.2.2.1. Simulador de lluvia: equipo

Los elementos que componen el simulador de lluvia son:

- **Equipo de presurización:** compuesto por dos depósitos de pulverización manual de presión previa por aire comprimido (Matabi, Kima-12), los cuales dan mayor estabilidad a la presión que los presurizadores de compresión directa del agua (fotografía 3.18)
- **Soporte:** el cual consta de una plataforma cuadrada de 40 cm², con cuatro apoyos telescópicos, dos de 2,20 en la parte trasera y dos de 3,30 en la delantera, fabricados todos ellos con hierro galvanizado (fotografía 3.19). Este armazón permite la elevación de la plataforma hasta 2 metros de altura sobre una superficie llana, y a más altura cuanto mayor sea la pendiente en la que se realice el experimento. Una reproducción a escala se presenta en la figura 3.18.

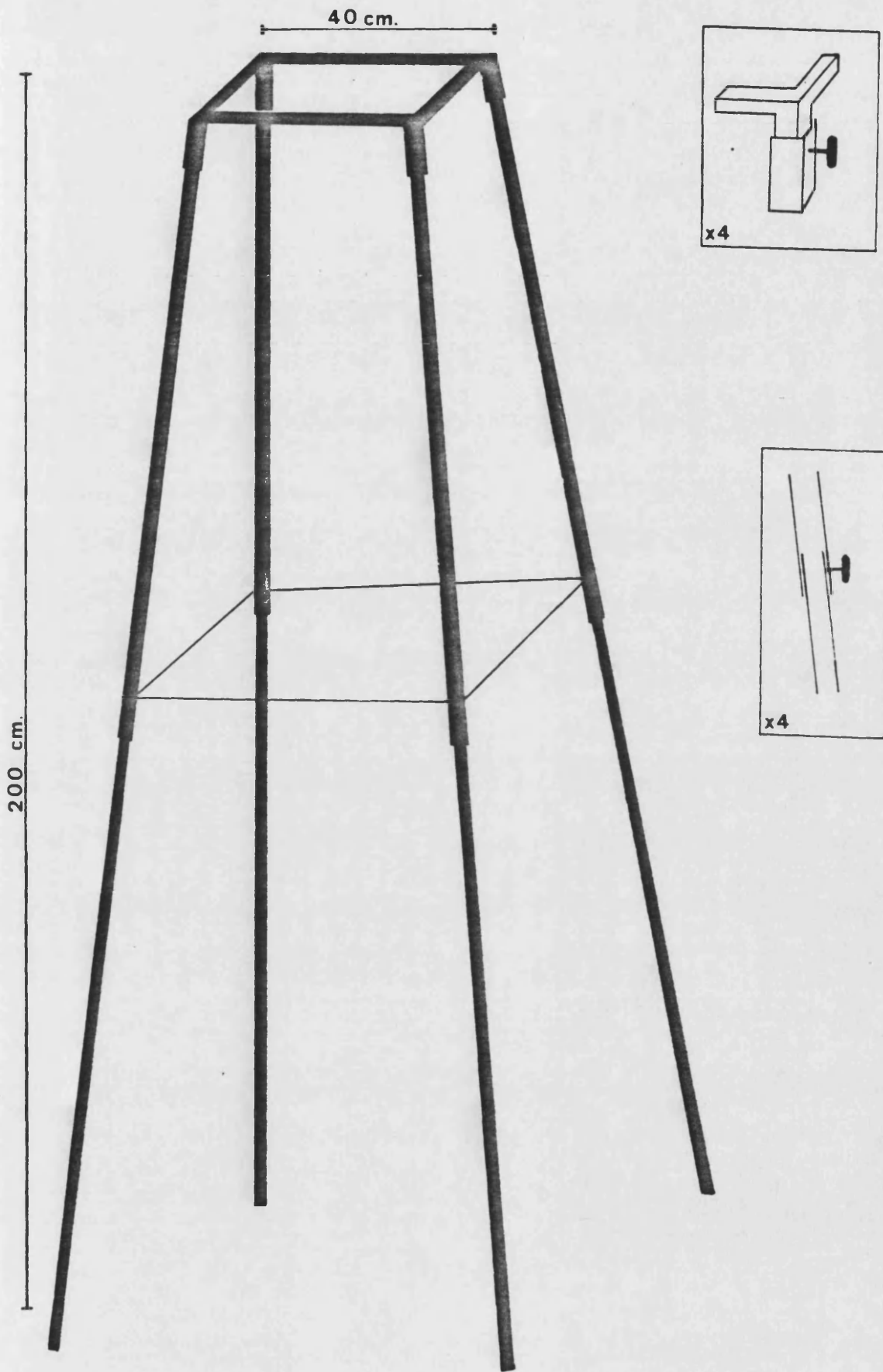


Figura 3.18. Reproducción a escala de la estructura y características de los ensambles

- Un complemento del soporte es el toldo protector del viento, el cual se acopla a éste, dándole consistencia a toda la estructura, e impidiendo la entrada de cualquier agente externo que altere las características de la lluvia (fotografía 3.18).

- Las boquillas utilizadas para la producción de lluvia simulada son de la marca HARDI, las cuales se componen de: un filtro (725043) con malla de 0,3 mm, y un adaptador de gota gruesa (371077), un difusor ("gris"-371034), y la boquilla en sí (HARDI-1553-10). En la fotografía 3.20, se muestran todos los componentes en detalle, y con la fotografía 3.21, ensamblados al portaboquillas, y éste a los conductos del agua a presión.

La conexión de las boquillas a los presurizadores se realiza por medio de un grifo de doble entrada, el cual comunica cada depósito con la manguera que traslada el agua hasta la parte alta del armazón. La doble entrada permite realizar experimentos de infinita duración al poder alternarse los dos presurizadores.

Otra innovación introducida para la presente investigación, consiste en el diseño de tres entradas de agua simultáneas, pero de conexión independiente, lo cual nos permite mantener una, dos, o tres boquillas en funcionamiento. A pesar de esto, normalmente sólo se ha utilizado una boquilla, en la disposición que se presenta en la fotografía 3.19, ensamblada a la estructura (con más detalle en las fotografías 3.21 y 3.22). En la figura 3.13 se muestran las características de esta parte tan importante del simulador de lluvia, ya que la característica de la lluvia es controlada por la presión medida en el manómetro, de ahí que las características de los conductos del agua posteriores a este instrumento de medición deban ser conocidos, para posibles reproducciones del instrumento.

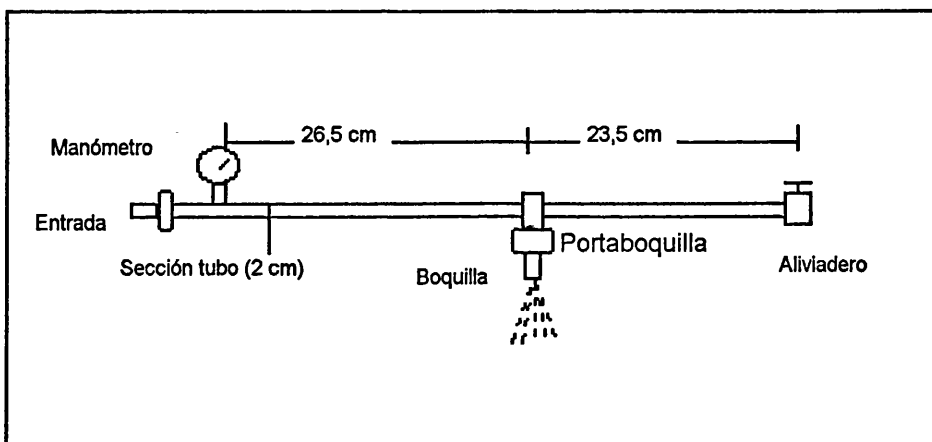


Figura 3.19. Especificación del tamaño y disposición del pulverizador y todos los instrumentos que lo componen

Precipitación	mm h⁻¹
Media	54,60
cv	6,76
C (24)	56,09
B (12)	55,79
A (04)	53,76

Tabla 3.2. Intensidad y distribución de la precipitación. A, B y C corresponden a las media de los pluviómetros colocados concéntricamente según la figura 3.20. cv, coeficiente de variación

Los experimentos de laboratorio nos aportaron la información necesaria para determinar que con las características técnicas del simulador utilizado por nosotros (tamaño de tubos, distancia del manómetro a la boquilla, etc., ver figura 3.19) la presión con mejor distribución era 1,6 Kg cm⁻², seguido por 1,5 Kg cm⁻². Con presiones mayores a 1,6 Kg cm⁻² el cono de lluvia se expande y la precipitación es mayor en los laterales de la parcela, mientras que con menores a 1,5 Kg cm⁻² la lluvia es mayor en el centro. En los experimentos se utilizó una presión intermedia, entre 1,5 y 1,6 Kg cm⁻², debido a que es muy difícil en el campo mantener la presión estabilizada exactamente en un punto concreto.

Con la presión estipulada anteriormente, la intensidad de la lluvia en los experimentos realizados como prueba es de 54,6 mm h⁻¹, si bien en los cálculos se ha redondeado a 55 mm h⁻¹ para simplificar estos, teniendo en cuenta que la variabilidad entre experimentos era superior a esta modificación. En el apéndice B se muestra un extracto de las calibraciones realizadas, del cual se presenta un resumen en la tabla 3.2.

3.2.2.2. Características de la lluvia simulada

A continuación presentamos un breve resumen de las características de la lluvia utilizada en la investigación, y su relación con las precipitaciones naturales en el País Valenciano.

a) Intensidades y distribución de la precipitación

De entre los rangos de intensidad de lluvia de interés para nuestra investigación, concretamente los capaces de producir escorrentías estables en los

cauces del área de estudio, se eligió el que presentaba la distribución espacial más regular dentro de la parcela.

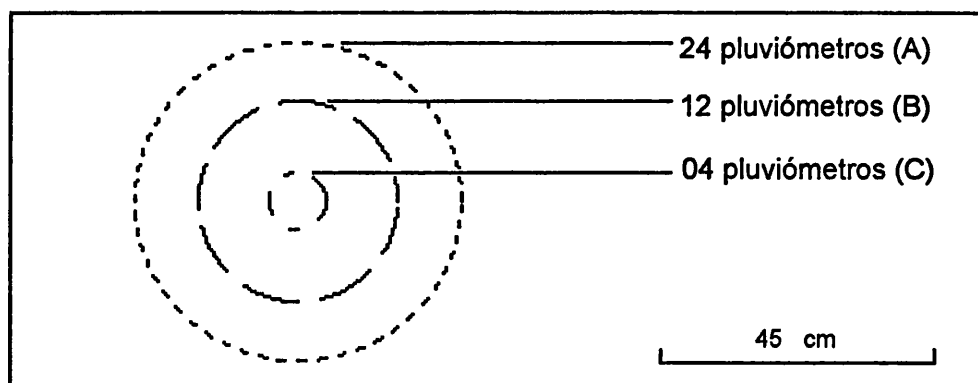


Figura 3.20. Distribución de los pluviómetros en la medición de la lluvia simulada. Esta disposición concéntrica responde al funcionamiento cónico de la boquilla

Los estudios hidrológicos realizados en el País Valenciano, demuestran que para producirse un caudal estable en los cauces (crecidas), son necesarias precipitaciones mayores a 65 mm/día en el norte del País Valenciano (SEGURA, 1989) y de 35-40 mm/día en el sur (SEGURA, 1990). MATEU (1982) en su estudio de la hidrología del norte del País Valenciano cree necesarios precipitaciones de 60 mm/5-6 horas para producir un caudal efectivo, que en el caso de que fueran 100 mm producirían una avenida extraordinaria. Este comportamiento hidrológico de nuestros sistemas fluviales, cauces secos, excepto en precipitaciones extraordinarias, hace que la intensidad utilizada en los experimentos con lluvia simulada sea superior a los umbrales que normalmente generan escorrentía en los cauces. Estas investigaciones, junto a otras que detallan claramente la relación entre intensidad de la precipitación y recurrencia, fueron tomadas como base para la elección de la intensidad, ya que 55 mm h^{-1} , es una intensidad relativamente recurrente y que, en situaciones normales, sería capaz de producir escorrentía en los cauces.

Según ELIAS y RUIZ (1979), los chaparrones de 55 mm h^{-1} tienen periodos de recurrencia de cinco años en Valencia ciudad, pero estos periodos son menores para áreas al norte de las Béticas y mayores al sur de éstas. Estos máximos y mínimos, se repiten por lo que respecta a las máximas intensidades de precipitación, para periodos de recurrencia mayores, concretamente la intensidad de precipitación con una recurrencia de diez años es de $40\text{-}50 \text{ mm h}^{-1}$ al sur y 110 mm h^{-1} al norte de las Béticas. Según estas fuentes, la intensidad utilizada en nuestros experimentos (55 mm h^{-1}) es representativa de las lluvias intensas de periodos de recurrencia cortos, los cuales producirían escorrentías estables en los cauces. Según los estudios de

GARCIA-BARTUAL (1986), la intensidad de lluvia utilizada en la investigación (55 mm h^{-1}), se corresponde con la intensidad media esperada de un chaparrón máximo de duración de 45 min y un periodo de retorno de cinco años, de acuerdo con la curva de intensidad-duración-frecuencia propuesta por este autor para Valencia ciudad.

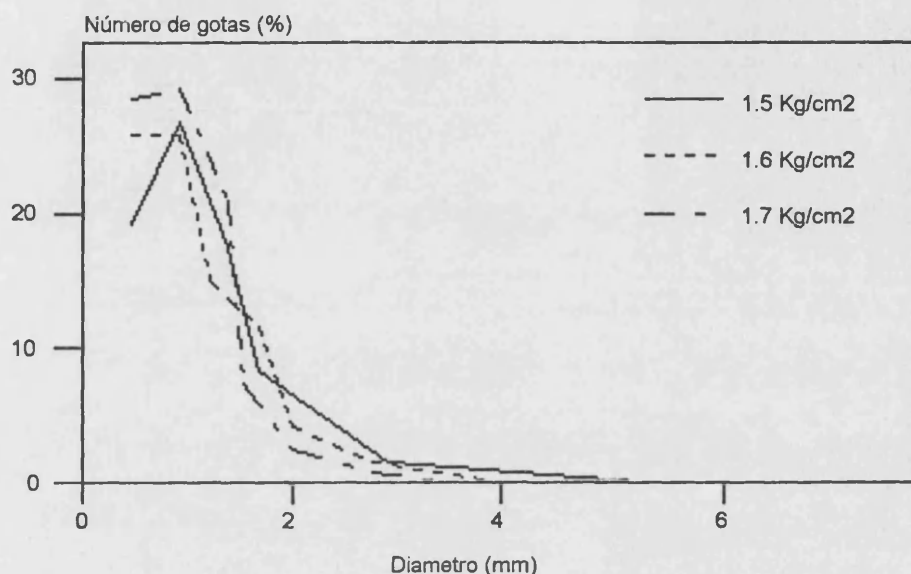


Figura 3.21. Distribución de los tamaños de gotas a tres presiones diferentes: 1,5, 1,6 y 1,7 Kg cm^{-2}

La decisión de elegir 55 mm h^{-1} , como precipitación idónea, se debe además, a que la reducida superficie de la parcela ($0,24 \text{ m}^2$) exige una mayor precisión en la distribución de la lluvia (MEYER, 1965; 1985; BUBENZER, 1979; 1988). La intensidad elegida para nuestro estudio fue la obtenida con la boquilla presentada anteriormente, a una presión entre 1,5 y 1,6 Kg cm^{-2} , lo que supone una precipitación media de 55 mm h^{-1} (ver tabla 3.2). Las mediciones para la calibración se realizaron mediante 40 pluviómetros: cuatro en el centro y veinticuatro en los laterales de la parcela, mientras los doce restantes se situaron en el espacio intermedio. Esta disposición responde al funcionamiento y distribución cónica de la boquilla (ver figura 3.20 y los resultados en la tabla 3.2).

La utilización de dos o tres boquillas aumenta la precipitación en más del doble o el triple debido a que la intercepción de los conos de lluvia favorece el aumento de las gotas precipitadas sobre el suelo, y con ello la intensidad de la precipitación. En la fotografía 3.23 se presenta un ejemplo del funcionamiento del simulador durante un experimento sobre un suelo recientemente incendiado.

b) Tamaños de gota

Los tamaños de gota se midieron con el método del papel de filtro impregnado con colorante (BRANDT, 1989; 1990). Los análisis de múltiples muestras (> 1000), procedentes de los diferentes experimentos, demostraron que con la reducción de la presión se conseguía un aumento del tamaño de las gotas, el cual era acompañado de un aumento de la intensidad. Este mismo efecto se conseguía con la utilización de dos boquillas, ya que la fusión de los dos conos de lluvia provoca la coalescencia de las gotas.

La energía cinética de la lluvia es baja, debido al reducido tamaño de las gotas (HUDSON, 1982; MORGAN, 1986), aunque ésta es una característica de todos los simuladores de lluvia dedicados a estudios de la infiltrabilidad de los suelos, como se ha explicado en el anterior capítulo.

3.2.2.3. Parcelas

Las parcelas utilizadas por otros investigadores con los simuladores de lluvia han variado en tamaño y construcción, dependiendo de los objetivos de las investigaciones (MUTCHLER *et al.*, 1983).

Con los simuladores goteadores las parcelas son menores a 4 m², excepto en casos particulares (PETERSON, 1977). Normalmente encontramos parcelas menores a 1 m², (IMESON, 1977; KAMPHORTS, 1987), si bien en ocasiones la extensión es ínfima, menor a 0,02 m² (ADAMS, 1957; MAZURAK, 1968; SELBY, 1970).

En los simuladores pulverizadores, las parcelas son generalmente grandes debido a su utilización en campos de cultivo y en estudios de erosión (MEYER y McCUNE; 1958), aunque hay un gran grupo en el cual el tamaño es inferior a 4 m², dentro del cual las menores a 1 m² están generalmente dedicadas a estudios de infiltrabilidad de los suelos (DORTIGNAC, 1951; MEEWING, 1969; CALVO *et al.*, 1988).

La parcela móvil, destinada a estudiar variaciones espaciales, cubre un área de 0,24 m², y es circular. Los bordes son de hierro galvanizado de 5 cm de altura, de los cuales los tres centímetros inferiores son de un grosor de 1 mm (fotografía 3.17).

Las parcelas fijas, destinadas al estudio de las variaciones temporales, están construidas con hojas de aluminio de 0,8 mm de espesor. En los dos tipos de parcelas, la salida se realiza a través de un borde de 10 cm en la parcela móvil, y de un tamaño semejante en las parcelas fijas (fotografía 3.16). Para la recolección de la escorrentía no se ha utilizado un canal del tipo GERLACH (1967), como otros

investigadores en experimentos similares (LUK *et al.*, 1986; SCOGING, 1982a; LUK *et al.*, 1986) debido a que la distribución circular de la lluvia impedía este tipo de diseño. Por ello se ha utilizado un colector de abertura triangular construido con hojas de cinc de 0,35 mm de grosor (ver fotografía 3.21).

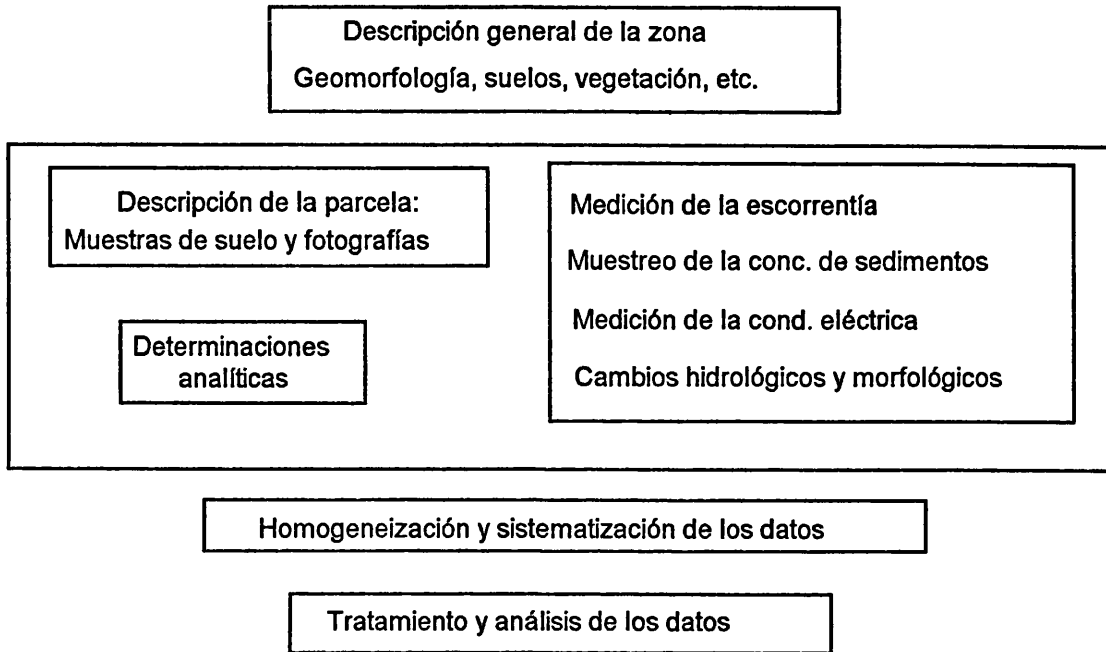


Figura 3.22. Organigrama de la producción y tratamiento de la información obtenida con los experimentos realizados en el campo

3.2.3. Experimentos con lluvia simulada y mediciones complementarias

Todos los experimentos realizados para la presente investigación responden al mismo diseño. Constan en sí de la producción de un chaparrón de características definidas (explicadas anteriormente) sobre una parcela, el cual tanto antes como después del experimento, se realizan mediciones para su caracterización. Un organigrama de las diferentes etapas seguidas en la realización del estudio, desde la selección de la zona, al tratamiento y posterior análisis de los datos se presenta en la figura 3.17.

Cronológicamente, tras la elección de la parcela, se realizaba una descripción y muestreo de un perfil de suelo, así como un inventario botánico de la zona y un pequeño croquis geomorfológico. La descripción detallada de la parcela tenía en cuenta el estado de las grietas, pedregosidad, pendiente, vegetación, líquenes,

musgos, costras, *nills*, macroporos y hojarasca. También se toman dos **muestras** del suelo a diferente profundidad (0-2 cm y 4-6 cm) para determinar el contenido de humedad, y se realiza una fotografía de la superficie antes y después del **experimento**.

Los chaparrones simulados han sido de 55 mm h^{-1} mantenidos entre 30 y 60 minutos, aunque en ocasiones, tanto intensidades como duraciones han sido mayores debido a razones puramente experimentales. En la figura 3.18 se muestra la distribución de frecuencias en intervalos de 5 minutos para la población de experimentos realizada con lluvia simulada según su duración.

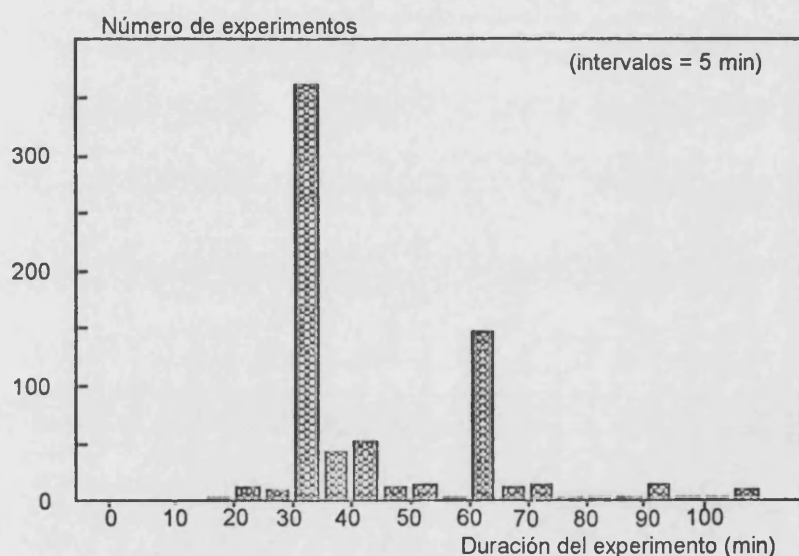


Figura 3.23. Distribución de los experimentos según su duración

La **duración de los experimentos** se decidía durante la ejecución de éstos, intentando siempre que la escorrentía llegase a la estabilidad, tanto para conocer la tasa de infiltración final, como para caracterizar la producción de sedimentos con una escorrentía estable. Generalmente, la duración mínima del experimento ha sido de 30 minutos, excepto cuando surgía algún problema técnico, aunque en muchos casos se alcanzan la hora de duración (ver figura 3.23).

La **medición de la escorrentía** se produce a intervalos de 0,5, 1 o 2 minutos. Normalmente, la medida se realizaba cada minuto, excepto en suelos con baja escorrentía en los que se realizaba cada dos minutos y en los inicios de las mediciones, momento en el que se toma cada 30 segundos para conocer la forma del hidrograma con más precisión.

Por lo que respecta a la medición de la pérdida de suelo, las muestras tomadas se distribuían a lo largo del experimento. Así, la primera era tomada al principio de la escorrentía y la última cuando la escorrentía era estable. Entre las dos anteriores se recogieron diversas muestras (como mínimo una) para caracterizar la producción de sedimentos en cada parte del hidrograma. En algunos experimentos, se tomaron muestras de sedimento en todos los minutos, con el objetivo de determinar la evolución de la concentración de sedimentos, especialmente en suelos donde las tasas de erosión eran muy altas.

En todos los experimentos se ha utilizado agua desionizada con el fin de evitar la entrada de elementos extraños en el suelo, ya que la calidad del agua puede alterar la respuesta hidrológica y erosiva de una manera importante (ver apartado 2.52). El control de la calidad del agua es imprescindible en los experimentos realizados en litologías en las que las sales son abundantes (IMESON y VERSTRATEN, 1988), situación que encontramos en varias de las zonas estudiadas.

También se han realizado diversos perfiles de ladera en la zona de Anna, para conocer las diferencias entre las dos vertientes, ya que el valle se caracteriza por una importante asimetría. El instrumento utilizado para esta medición ha sido un Pantómetro de armazón rígido con Clinómetro de Péndulo (PITTY, 1968 a través de CALVO, 1987).

3.3. Determinaciones analíticas

El trabajo de laboratorio ha consistido en el análisis de la muestra de escorrentía obtenidas con los experimentos de lluvia simulada, y en la determinación de algunas características fisicoquímicas de los suelos estudiados.

3.3.1. Suelos

La humedad previa del suelo (antes del experimento) se ha obtenido por el método gravimétrico, produciéndose el secado del suelo a una temperatura máxima de 105 °C durante 24 horas, excepto en los suelos en los que era patente la existencia de yeso, a los cuales sólo se les aplicaba 40 °C, hasta que su peso fuera constante. La humedad del suelo se ofrece como contenido hídrico en % de suelo desecado (KOSTER y LESER, 1976).

El color del suelo se ofrece según la nomenclatura de la "*MUNSELL Soil Colors Charts*", y en todos los casos se midió en seco y la descripción de los perfiles de los suelos se realizó siguiendo la guía de la FAO (1977).

La textura de los suelos se ha obtenido por el método de sedimentación discontinua, método de la pipeta (PORTA, 1986), y se presenta en tres fracciones: arcillas, limos y arenas, según los tamaños de la USDA SIMPLE (2.000-50, 50-2 e inferior a 2 micras, para arena, limos y arcillas, respectivamente).

El carbonato cálcico se ha determinado mediante el método denominado Calcimetría de BERNARD, y la materia orgánica por el WALKEY-BLACK (JACKSON, 1982), utilizando 0,5 ó 1 gramo de muestra según las características del suelo estudiado.

De algunos suelos, se han realizado determinaciones de la estabilidad estructural con tres métodos, dispersión en agua (EMERSON, 1959), por impacto de gota (McCALLA, 1944), y por ultrasonidos (EDWARDS y BREMMER, 1967).

Para la evaluación de la estabilidad de los agregados se utilizaron agregados de 4-4,8 mm, secos y húmedos a pF1 durante 24 horas. Los test elegidos fueron:

- TDI: "*Ten Drop Impacts*". Este método consiste en someter a un agregado a la energía de diez impactos de gota, determinando la muestra superviviente mediante un tamiz de 2,8 mm. Las fracciones mayores y menores de 2,8 mm se determinan a partir del peso en seco de las dos muestras. También se anota como se rompe el agregado: desmoronamiento, división en varias partes, influencia de las raíces, etc. (IMESON y VIS, 1984a).

- CND: "*Counting the Number of Drop-impacts*". Se contabiliza el número de impactos necesarios para romper un agregado, lo que se determina cuando éste es capaz de atravesar un tamiz con una luz de 2,8 mm. El número de repeticiones fue de al menos 20 y se contaron un máximo de 200 gotas por agregado.

- UD: "*Ultrasonic Disruption*". Los agregados a pF1 se colocan en 40 ml de agua destilada, y se someten a una energía de entre 30 y 115 vatios, durante 5 o 10 segundos con el disruptor a 10 mm de profundidad sobre una altura de agua de 40 cm. Tras el tratamiento se contabilizaban los agregados supervivientes, así como el peso de la muestra que atraviesa (también la que no) un tamiz 2,8 mm (IMESON y VIS, 1984a).

Para los test de dispersión por ultrasonidos, se utilizó un generador de ultrasonidos denominado Sanfier 1312 (Branson Sonic Power Company, Danbury, Connecticut), similar al utilizado por otros autores (BUSSACA *et al.*, 1984) (fotografía 3.24). Para el *water-drop test* (IMESON y VIS, 1984a), las gotas se generaron con una boquilla compuesta por un tubo y un regulador de paso del agua.

Las gotas producidas, siempre con agua destilada, tienen un peso de 0,063 gramos, y eran precipitadas a través de un tubo de polietileno de 15 cm de diámetro, desde un metro de altura sobre un tamiz de 2,8 mm, donde eran colocados los agregados (ver fotografía 3.25).

3.3.2. Escorrentía

De todas las muestras tomadas para el cálculo de la curva de infiltración, se seleccionan algunas para la determinación de la pérdida de suelo, para lo cual se ha medido el contenido de sedimentos (desección y gravimetría) y la conductividad eléctrica de la escorrentía (conductímetro). Este último método ha sido considerado de gran precisión por diferentes investigadores (PLA SENTIS, 1990), realizándose la medición en el campo en la mayoría de muestras, aunque sin el filtrado de éstas como se indica en las técnicas más precisas (NAVAS, 1988).

3.4. Tratamiento de la información

El elevado número de experimentos realizados nos ha llevado a diseñar una detallada nomenclatura de los experimentos para que el lector pueda consultar en cualquier momento los apéndices. La referencia de cada experimento está compuesta normalmente de seis dígitos tanto para los realizados con infiltrómetros de cilindro, como con el simulador de lluvia. Esta es la estrategia seguida:

- los dos primeros dígitos son siempre letras, y hacen referencia a la zona de estudio: Petrer (PR), Puçol (PU), Genovés (GE), Anna (AN), Monnegre (MN), Bolbens-Canals (BO), Pedralba (PE), Torís (TU), Requena (RE) y Vall de Gallinera (GA).

- el tercero y cuarto dígito, corresponde al número de parcela en cada zona; por ejemplo, AN04 es la parcela número cuatro de Anna.

- los dos últimos dígitos nos informa del número de mediciones sobre una parcela. Así pues, AN0403 es la tercera prueba sobre la cuarta parcela de Anna. Cuando es un experimento sobre una parcela móvil, es decir, sin repeticiones, estos dos últimos dígitos no existen.

- junto a los anteriores números, y siempre al final de las referencias, aparecen en contadas ocasiones algunas letras, las cuales significan:

-B: repetición del experimento con el suelo húmedo (GE61B), o bien cambio de intensidad de la precipitación (PR0207B).

-P: eliminación de la pedregosidad superficial tras la realización de un experimento previo (GE37P).

3.4.1. Tratamiento de los datos

Todas las mediciones realizadas durante los experimentos en el campo se han tratado de forma homogénea. Con ello se han obtenido índices o parámetros fiables en base a las premisas que vamos a presentar a continuación.

Las características de la cubierta de las parcelas (musgos, plantas, hojarasca, líquenes, pedregosidad y rocosidad) se tomaron en porcentajes. La pendiente y la exposición se presentan en grados y la superficie de la parcela en m². A estos datos les acompañan en la descripción otros: día y hora de realización, litología, grietas y sus tamaños, macroporos o *pipes*, tamaño, distribución y posición de la pedregosidad, morfología superficial, costra, altura de la vegetación (cm) y profundidad del suelo (cm) (ver apéndice A, descripción de las parcelas según la hoja de campo).

Respecto a la vegetación, se han obtenido algunos parámetros, además de la altura y la cubierta, que nos pueden ayudar a entender mejor su papel sobre la infiltración. La Densidad de la vegetación se ha obtenido según la siguiente fórmula (IMESON, 1974):

$$Dv = a * c \quad (10)$$

Donde Dv = Densidad de la vegetación
 a = altura de la vegetación (cm)
 c = cubierta de la vegetación (%).

La Biomasa de la vegetación se ha obtenido por la siguiente fórmula:

$$Bi = s * c / 100 * a / 100 * 1000 \quad (11)$$

Donde: Bi = Biomasa de la vegetación (cm³)
 c = cubierta de la vegetación (%).
 s = área de la parcela.

Los datos de algunas características físicas y químicas de los suelos se presentan en porcentajes, tanto de los diferentes tamaños de la textura, como del contenido en materia orgánica y carbonato cálcico.

La densidad aparente (D) se ha medido a partir de cilindros de volumen conocido (69,18 cm³) de los 6 cm superiores del suelo, y se presenta en g cm⁻³.

La porosidad (P) del suelo se ha calculado de forma indirecta a partir de los valores de densidad real (D') dada por DUCHAUFOR (1975) (2,6 g cm⁻³), y utilizada

por diferentes autores (SCOGING y THORNES, 1980; STONE, 1991) siguiendo la siguiente fórmula:

$$P = D - D' / D * 100 \quad (12)$$

Otros autores utilizan valores semejantes: $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (NAETH *et al.*, 1991). Para los suelos con contenidos en materia orgánica mayor al 3%, la densidad real considerada ha sido $2,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Se ha obtenido un índice de sellamiento, "S.I." (POESEN, 1985) a partir de la ecuación 13, explicada en el hidrograma de la figura 3.24.

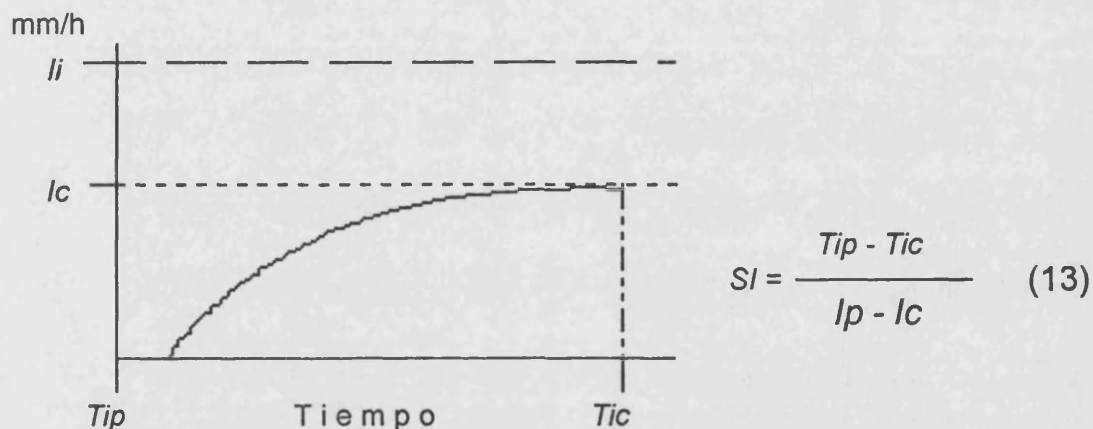


Figura 3.24. Índice de sellamiento ($\text{mm h}^{-1} \text{ h}^{-1}$), (POESEN, 1985)

T_{ip} = tiempo de inicio de la precipitación (h)

T_{ic} = tiempo de la infiltración constante (h). Obtenido con la ecuación de Horton

I_p = infiltración inicial (mm h^{-1}). Igual a la intensidad de la precipitación

I_c = infiltración constante (mm h^{-1}). Obtenido con la ecuación de Horton

Este índice de sellamiento sólo ha sido utilizado hasta el momento en experimentos de laboratorio, pretendiéndose en esta investigación confirmar su validez para pruebas realizadas en el campo.

El área de las parcelas se ha medido a partir de la proyección de fotografías tomadas verticalmente de la superficie de ésta. El uso de un planímetro digital de gran precisión y la ampliación de las fotografías (aprox. 25 veces) ha permitido mantener un alto nivel de precisión en la medición. El área real de las parcelas se obtuvo a partir de la corrección trigonométrica de las superficies medidas con el planímetro, es decir, se utilizó el área de la proyección a la horizontal de la superficie paralela a la pendiente del suelo.

Los volúmenes de escorrentía y de precipitación medidos en el campo en ml son transformados en $mm \text{ h}^{-1}$ y la concentración de sedimentos en $g \text{ l}^{-1}$. A las

mediciones de la escorrentía (en volumen) realizadas en el campo, se les resta el volumen de los sedimentos (densidad $2,6 \text{ g cm}^{-3}$) medidos en el laboratorio. Para las muestras de escorrentía, de las cuales no se conocía la concentración de sedimentos, la operación se realiza extrapolando los resultados de la muestra de sedimentos más cercana en la curva de escorrentía. Esta operación la creemos especialmente importante para suelos con una elevada exportación de sedimentos, como los *badlands*, en los cuales la no cuantificación éstos y su sustracción de los volúmenes de escorrentía, puede suponer una alteración de la curva de escorrentía además de una sobrevaloración de ésta.

La curva de la escorrentía se dibuja a partir de los tiempos medios de las medidas tomadas en el campo. La tasa de escorrentía (Tr) se obtiene según la siguiente fórmula:

$$Tr = (Et/s) / te \quad (14)$$

Donde: Tr = tasa de escorrentía (mm h^{-1})
 Et = escorrentía total (litros)
 s = superficie (m^2)
 te = duración del experimento (min)

La escorrentía media Esm (mm h^{-1})

$$Esm = Et/Te \quad (15)$$

donde: Et = volumen total escurrido
 Te = tiempo transcurrido entre el inicio y el fin de la escorrentía.

La precipitación media (Pm) (mm h^{-1}):

$$Pm = Pt/Pd \quad (16)$$

Donde: Pt = precipitación total
 Pd = duración de la precipitación

El coeficiente de escorrentía (Ce):

$$Ce = Et/Pt \quad (17)$$

Con el mismo procedimiento, se ha calculado el coeficiente de escorrentía del 25 % final del tiempo en el que se produce escorrentía. Este parámetro (Ce_{25}), junto a otros obtenidos con la ecuación de Horton, está dedicado al conocimiento de los cambios de la capacidad de infiltración, y en especial de la infiltración final estable.

La tasa de infiltración se ha calculado a partir de los coeficientes de escorrentía con la siguiente fórmula:

$$i = Pt (1-Ce) \quad (18)$$

Este procedimiento se ha mantenido para la aplicación de los distintos modelos de infiltración, ya que la medición tomada en el campo es de escorrentía y precipitación, obteniéndose la infiltración instantánea de forma indirecta (ver figura 3.25).

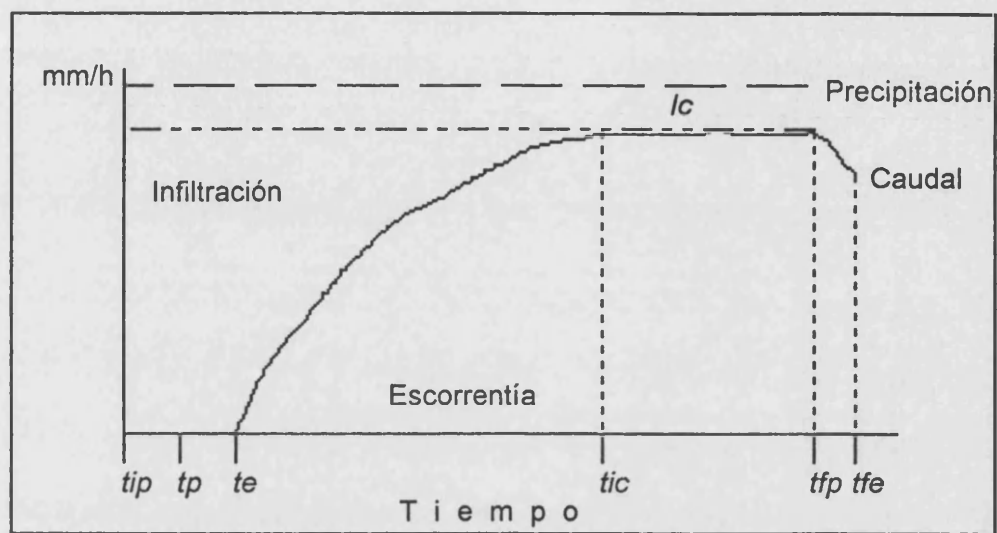


Figura 3.25. Parámetros hidrológicos obtenidos a partir de los hidrogramas generados con lluvia simulada. La infiltración se obtiene de forma indirecta con la sustracción de la escorrentía sobre la precipitación

La **concentración de sedimentos media** (C_{sm}) es una media aritmética de la concentración de sedimentos ($g\ l^{-1}$).

Los **sedimentos totales** o "sediment yield" (s_y) calculados para cada experimento se presentan en gramos a partir de la siguiente fórmula:

$$s_y = c_{sm} E t \tag{19}$$

Donde: c_s = Concentración de sedimentos media ($g\ l^{-1}$)

La **tasa de erosión** (e_r) se ha calculado a partir de los sedimentos exportados:

$$e_r = (s_y/s) 60/ t_e \tag{20}$$

La tasa de erosión se presenta en $g\ m^{-2}\ h^{-1}$, la concentración de sedimento en $g\ l^{-1}$, y los sedimentos totales en g .

La valores medios y la curva de la **conductividad eléctrica** (S_a) de la escorrentía es dibujada bajo los mismos principios que la concentración de sedimentos, siendo la unidad de medida el microSiemen (mS).

La **tendencia de la concentración de sedimentos (tcs) y de la salinidad (ts)** se ha obtenido ajustando con mínimos cuadrados los valores reales a una función lineal, tomándose como indicador de la tendencia (ascendente o descendente) la pendiente de la recta de regresión.

En la figura 3.20 se presentan los rasgos más importantes de los hidrogramas producidos con nuestros experimentos. Los parámetros más destacables son los proporcionados por los **tiempos de encharcamiento (tp)**, de **escorrentía (te)**, de **estabilización de la escorrentía (tic)**, del **fin de la lluvia (tfp)** y del **fin de la escorrentía (tfe)**, todos ellos medidos a partir del tiempo de inicio de la lluvia (tip), excepto tfe que es medido a partir de tfp .

Además, a partir de los tiempos podemos conocer los **volúmenes** necesarios para producir cambios hidrológicos en el suelo: encharcamiento (Vp), escorrentía (Ve), cierre de grietas (Vce), tasa de infiltración constante (Vic), fin de la lluvia (Vfp) y del fin de la escorrentía (Vfe).

Los experimentos realizados, nos permiten conocer la infiltración instantánea (Ii) al sustraer de la precipitación instantánea (Pi) la escorrentía instantánea (Ei), así como la infiltración acumulada (Ia), al restar de la precipitación total (Pt) la escorrentía total (Ef).

3.4.2. Modelización de la infiltración

El objetivo de la modelización es la obtención de unos parámetros, que estimados de una forma adecuada a partir de experimentos sistemáticos, nos sirvan para caracterizar la hidrología de los suelos estudiados. Los modelos constituyen una herramienta de extraordinaria utilidad práctica en los estudios hidrológicos, mucho mayor que los datos por sí solos en algunos aspectos, ya que con ellos se consigue una síntesis de la información, una conceptualización simplificada del proceso sin obviar lo esencial de éste, proporcionándonos descriptores cualitativos o parámetros que podemos utilizar como índices característicos de la infiltración de los suelos estudiados, los cuales finalmente pueden ser aplicados a la simulación y predicción hidrológica.

Concretamente, los problemas en la estimación de la infiltración final estable y la forma de la curva de infiltración a partir de los datos de campo, han hecho que muchos autores utilicen varios modelos o ecuaciones para ajustar los datos provenientes de los experimentos.

Además, las grandes posibilidades de la modelización antes comentadas permiten una mayor facilidad en la comparación entre los diferentes paisajes

estudiados, así como una equiparación de los valores de simples ecuaciones matemáticas abstractas a parámetros físicos reales.

Nosotros hemos utilizado la ecuación de Horton, y dos modelos muy sencillos $i = a t^b$ y $i = a + b^{-t}$, de reconocida viabilidad por los trabajos de SCOGING y THORNES (1980). El ajuste de estas ecuaciones se ha realizado por el método de mínimos cuadrados, sin duda el más utilizado por la comunidad científica (MORIN y CLUFF, 1980; GHOSH, 1981; GHOSH y SASMAL, 1983; BERNDTSSON *et al.*, 1985a; ESEN, 1987; JORGENSEN y GARDNER, 1987; PANNO *et al.*, 1991).

De la aplicación del modelo de Horton a los datos procedentes de experimentos con lluvia simulada, se han obtenido diferentes variables: α , f_0 , f_c y t_0 , a partir del ajuste de los datos de campo. También, a partir de esta ecuación se ha obtenido el tiempo en el que se alcanza la estabilidad en la escorrentía (t_c), con un precisión del 95%, así como los coeficientes de escorrentía para diferentes intervalos de tiempo: 0-15 ($Ce15$), 15-30 ($Ce30$), 30-45 ($Ce45$) y 45-60 minutos ($Ce60$). Estos coeficientes de infiltración se han transformado en valores de infiltración con la ecuación 18, dando lugar a los parámetros de la infiltración acumulada en los minutos 15, 30, 45, 60 ($Vi15$, $Vi30$, $Vi45$, $Vi60$, respectivamente).

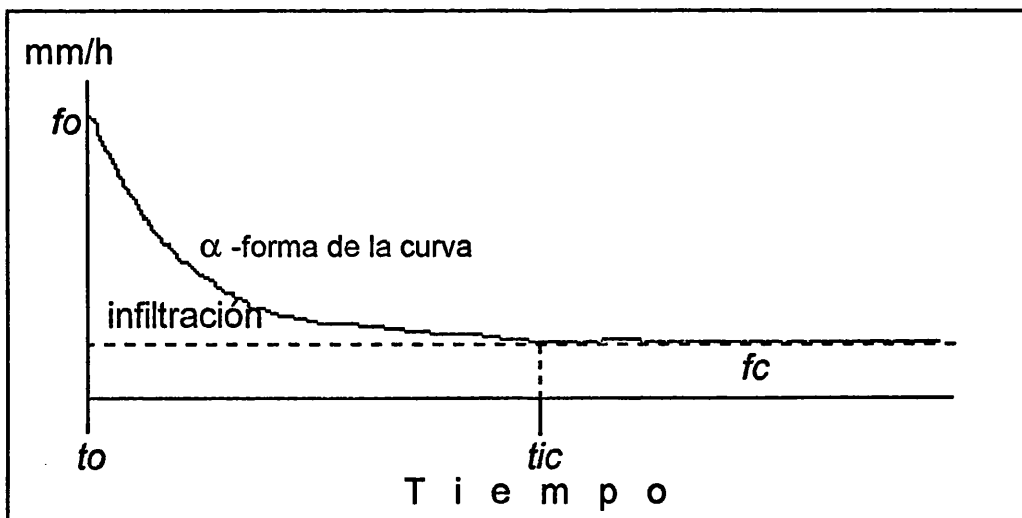


Figura 3.26. Parámetros obtenidos a partir de los experimentos con infiltrómetro de cilindro y del ajuste a la ecuación de Horton

Para los datos de los infiltrómetros de cilindro, en los que la infiltración se mide directamente, se ha utilizado los ajustes de la ecuación de Horton para obtener los mismos parámetros: ifc , ifo y $i\alpha$ (ver gráfico 3.26). Como aconsejan otros autores,

en el caso de que los ajustes den valores negativos de f_c , éste se entenderá que es igual a cero (BERNDTSSON, 1987).

La bondad de los ajustes de las tres ecuaciones ha sido satisfactorio. En la figura 3.27, se presenta una muestra de los resultados.

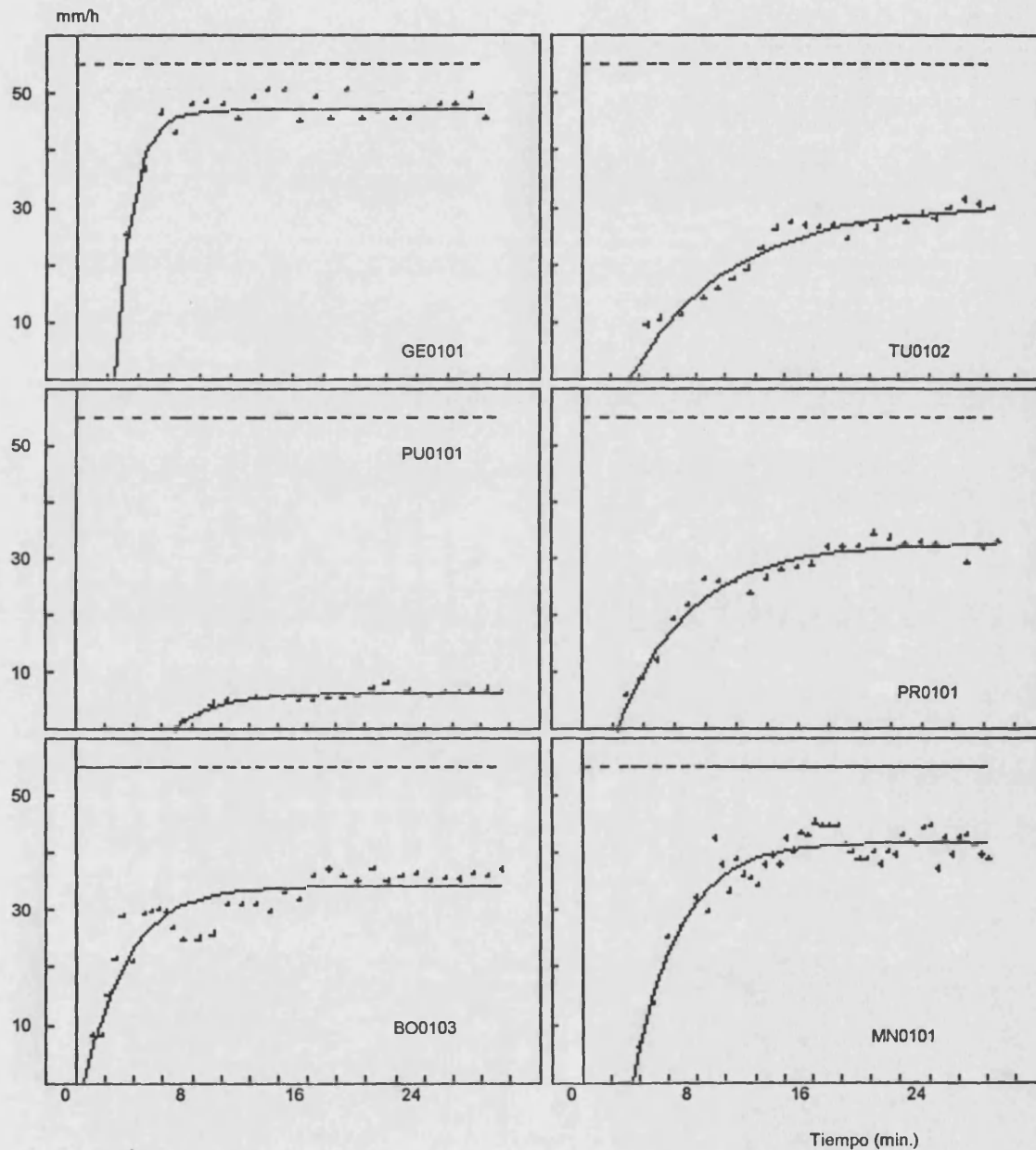


Figura 3.27. Ajuste de la ecuación de Horton para experimentos con lluvia simulada de intensidad y duración estándar (55 mm h^{-1} durante 30 minutos), para suelos con muy distintos comportamientos hidrológicos

tendencia puede ser inversa, casi siempre en suelos con contenido en arcillas expandibles altos, como los de los *badlands* de Petrer.

En el capítulo 5 se ha analizado cual es el papel de cada una de las variables tradicionalmente consideradas como **factores de la infiltración**.

Sin duda, el primer factor a tener en cuenta es la **intensidad de la lluvia**, la cual mantiene una relación positiva con la infiltrabilidad de los suelos, aumentando normalmente la tasa de infiltración cuando se produce un aumento de la intensidad. Tan solo se han encontrado algunos suelos en situaciones muy concretas, encostrados y muy húmedos, en los que un aumento de la intensidad de la precipitación ha supuesto una reducción de la infiltración, lo cual espacialmente se circunscribe a suelos degradados sobre margas (*badlands*) y suelos incendiados durante el otoño siguiente al incendio.

Pero la precipitación no solo influye sobre la hidrología de los suelos por medio de la intensidad de ésta, sino también por el volumen de agua almacenado previamente en el suelo: **la humedad**. Esto se comprobó con experimentos repetidos en días consecutivos. En ellos se ve como la humedad además de reducir la tasa de infiltración final estable produce un aumento en la pendiente de la curva de escurrimiento.

Al contrario que experimentos controlados como los anteriores, cuando se busca la influencia de la humedad a partir de un muestreo sobre una cuenca de drenaje, se descubre que los suelos con mayores tasas de humedad son los de mayor infiltrabilidad. Esto es consecuencia de que sean los suelos más estables los que además de tener mayores tasas de infiltración sean capaces tanto de almacenar mayor cantidad de agua durante las estaciones húmedas como de proteger a esta durante las secas. Tanto por la cubierta vegetal como por la hojarasca y la materia orgánica, las cuales favorecen temperaturas más bajas y menores tasas de evaporación.

La **cubierta vegetal** tiene una clara relación positiva con la infiltración, aunque esta presente una elevada dispersión. Las plantas superiores, la hojarasca o los musgos favorecen la infiltrabilidad de los suelos, mientras que los líquenes tienen un comportamiento poco definido, en parte porque en muchas ocasiones aparecen junto con plantas superiores. Este efecto multiplicativo se confirma al comprobar que con el uso de índices más sofisticados, como la biomasa, la densidad o la simple adición de plantas, musgos y hojarasca, la relación es mucho más clara.

La **materia orgánica** claramente relacionada con la cubierta vegetal también presenta una relación positiva con la infiltración final estable.

La **textura** presenta una difícil correlación con la infiltración debido a la gran dispersión de los datos. No obstante el contenido en arena se vislumbra como positivo, mientras que el limo y la arcilla parecen negativos, no sin excepciones como la de los suelos sobre arcillas del Keuper en los que el contenido elevado en arcilla esta unido a una mejor agregación.

La relación del **carbonato cálcico**, sin ser directa, nos a permitido comprobar que los suelos con bajos contenido de CaCO_3 suelen tener infiltraciones elevadas, mientras que en los caracterizados por elevados contenidos de carbonatos (margas del Senoniense) su hidrología es muy variable, existiendo suelos con muy bajas tasas de infiltración (10 mm h^{-1}) y con tasas superiores a la intensidades de la lluvia.

La **estabilidad de los agregados** presenta una muy clara relación con la infiltrabilidad de los suelos, tal vez por que se ha tratado en valores medios. Así las laderas norte, las de mayores tasas de infiltración, tienen agregados más estables que las laderas sur, los suelos cubiertos con matorral presentan una mayor estabilidad de agregados que los suelos entre-matas o zonas pasillo, los cuales respectivamente tienen menores y mayores tasas de infiltración. En general los suelos sobre margas senonienses son los más inestables, mientras que los situados sobre arcillas del Keuper son los más estables, estando en una situación intermedia los suelos sobre calizas, de entre los cuales los incendiados presenta una ligera menor estabilidad.

La **densidad del suelo** tiene una clara relación negativa con la infiltrabilidad de los suelos, ya que a mayor espacio ocupado por materia solida el volumen poroso es menor y por tanto la capacidad de almacenamiento y transmisión del agua es menor. Esto explica la relación positiva de la porosidad, la cual al igual que la densidad presentan una elevada dispersión de la población estudiada en relación con la tasa de infiltración final.

La **profundidad del suelo** tienen una relación positiva con la infiltración lo que es lógico si tenemos en cuenta que de la potencia del suelo depende en valores absolutos el volumen de espacio poroso, si bien las excepciones surgidas en los suelos muy profundos nos confirma a su vez la importancia del encostramiento superficial.

La **pedregosidad** presenta una relación muy compleja, tanto por la gran variabilidad espacial como por su influencia contrastada sobre la infiltración. Como hemos demostrado inductivamente la pedregosidad superficial favorece la infiltración,

3.5. Análisis de la información

Tras el tratamiento de toda la información, dirigida esencialmente a la homogeneización en parámetros de fácil comprensión, pero a la vez capaces de definir hidrológicamente cada suelo, se procedió al análisis descriptivo y estadístico de la población.

En un primer momento, se realizaron multitud de análisis descriptivos para el conocimiento de la muestra con la que estábamos trabajando. En un segundo nivel, se aplicaron técnicas estadísticas encaminadas a encontrar relaciones entre los diferentes parámetros, pero siempre teniendo como centro a los parámetros que definían la infiltración.

Durante el análisis de los resultados y en el comentario de estos últimos, se utilizó la jerarquización de los valores del parámetro fc según se muestra en la tabla 3.3.

	fc (mm h ⁻¹)		fc (mm h ⁻¹)
ALTA	(40-50)	<i>muy alta</i>	(> 55)
		<i>alta</i>	(50-55) (40-50)
MEDIA	(20-40)	<i>media-alta</i>	(35-40)
		<i>media</i>	(25-35)
		<i>media-baja</i>	(20-25)
BAJA	(0-20)	<i>baja</i>	(10-20)
		<i>muy baja</i>	(0-10)
			(= 0)

Tabla 3.3. Calificación de la distintas magnitudes del parámetro fc (tasa de infiltración final estable), parámetro fc de la ecuación de Horton

En la presentación de resultados, capítulo 4, se utilizan los valores medios, la desviación estándar, el valor máximo, el mínimo y el número de mediciones realizadas de distintas variables: fc , Ce_{25} , Ce , Vi_{60} , tp , te , etc.

En el caso de parámetros con distribución de frecuencias log-normales y con colas que dificultan el tratamiento estadístico de todos los datos, sólo se han utilizado el 95 % de la población. Concretamente en el caso de α sólo se han utilizado los experimentos con valores menores a 1 min⁻¹. Tan solo se han tomado datos superiores (> 3 min⁻¹) para la descripción de los resultados del capítulo 4, ya que los suelos sin pendiente suelen tener valores de α .

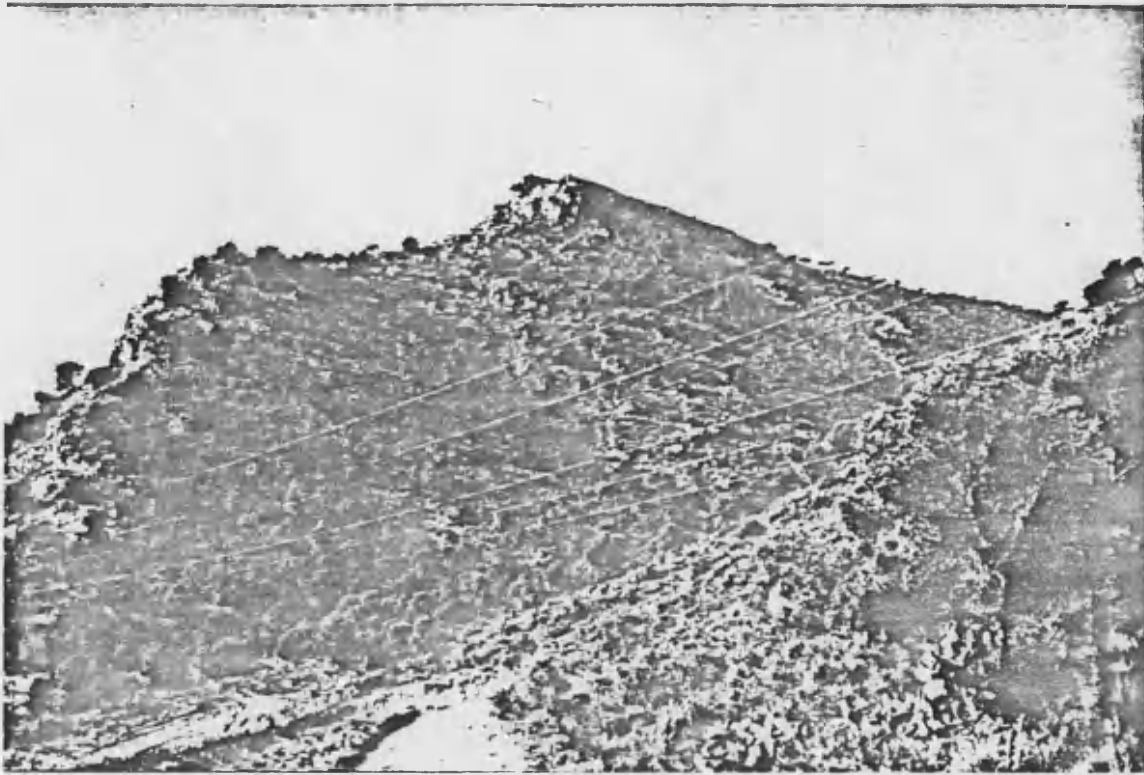
Los parámetros estadísticos utilizados como descriptores de la dispersión de la muestra han sido la desviación estándar (std) y el coeficiente de variación (cv), los cuales, aunque basados en la curva normal, nos ofrecen resultados satisfactorios en la caracterización de los distintos suelos y zonas de estudio, especialmente el caso del cv, el cual nos informa de la dispersión en relación a la magnitud de la muestra.

Otros conceptos utilizados en el análisis de los datos, y que por su importancia creemos conveniente recordar son los términos variaciones espaciales, temporales y estacionales.

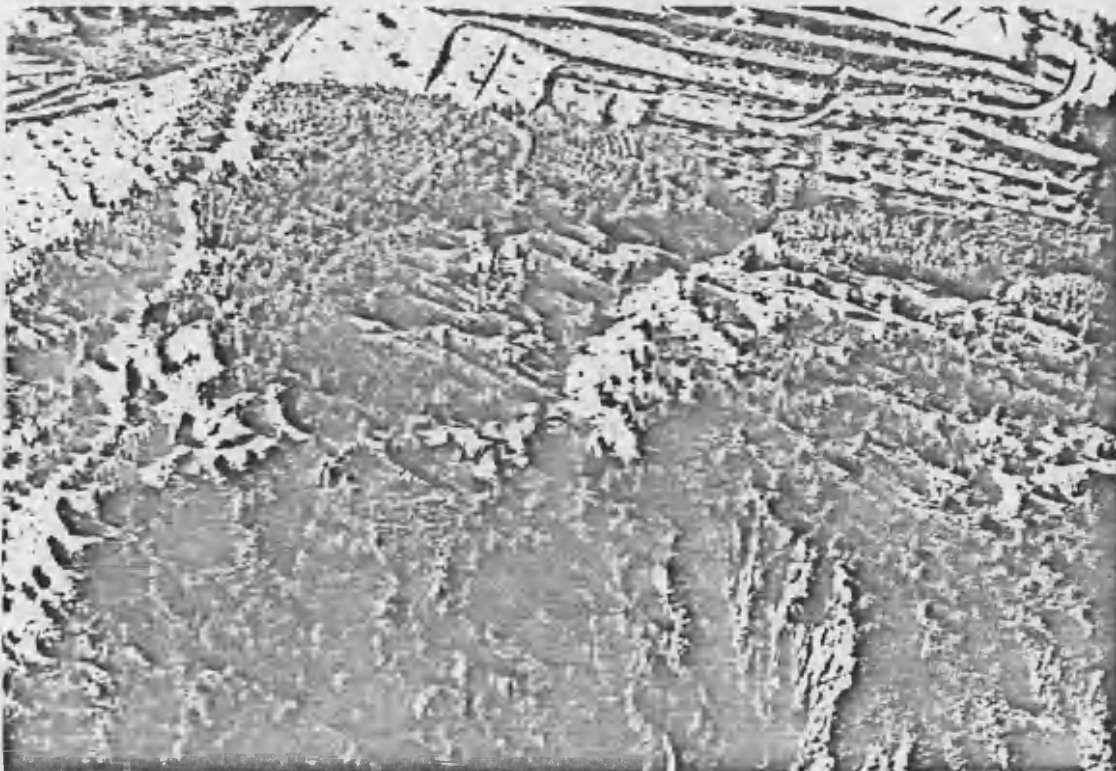
Respecto al término **espacial**, es obvio que hace referencia a los cambios en el espacio de la tasa de actuación de un proceso, en nuestro caso el del proceso hidrológico de la infiltración. El término **temporal**, es aplicado para los cambios de la tasa de infiltración en el tiempo para un punto concreto del espacio, es decir, la evolución de i durante el experimento. El decrecimiento asintótico de i viene definido en la ecuación de Horton por el parámetro α , en min^{-1} , el cual ha sido utilizado como índice de variación temporal.

Por lo que respecta al concepto de **cambio estacional**, se refiere a las variaciones de la infiltrabilidad de los suelos entre estaciones. A pesar de esto, las grandes diferencias entre el verano (máxima sequedad), y el resto de estaciones, ha hecho que la mayoría de los análisis se hagan contraponiendo la estación seca (verano) con las húmedas (primavera, otoño e invierno).

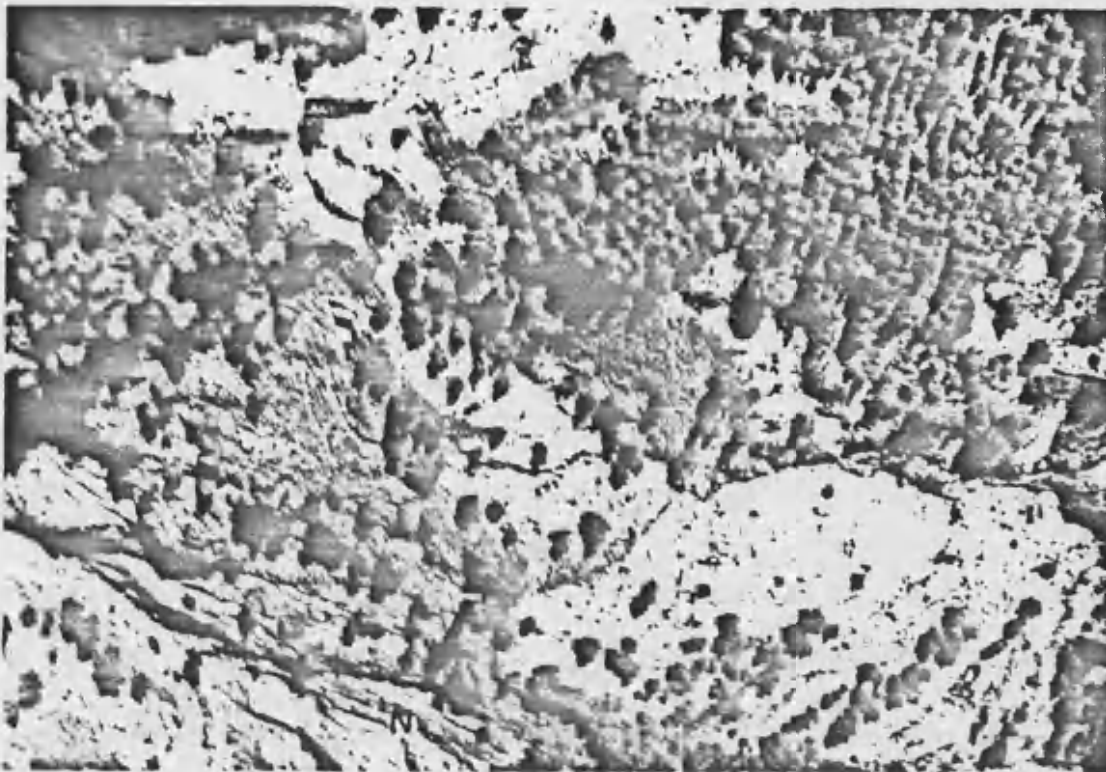
El análisis de los **factores** que determinan las tasas de infiltración se ha hecho a través de correlaciones y regresiones de los valores de f_c con los de los distintos factores de la infiltración, siempre teniendo como población los datos obtenidos con experimentos sobre suelos secos en verano. Los resultados se presentan gráficamente, ya que debido a la elevada dispersión de la muestra la inferencia estadística ha sido imposible de obtener con cierta fiabilidad. Además, con la ayuda de los gráficos se facilita una lectura más rápida y eficiente de los resultados,



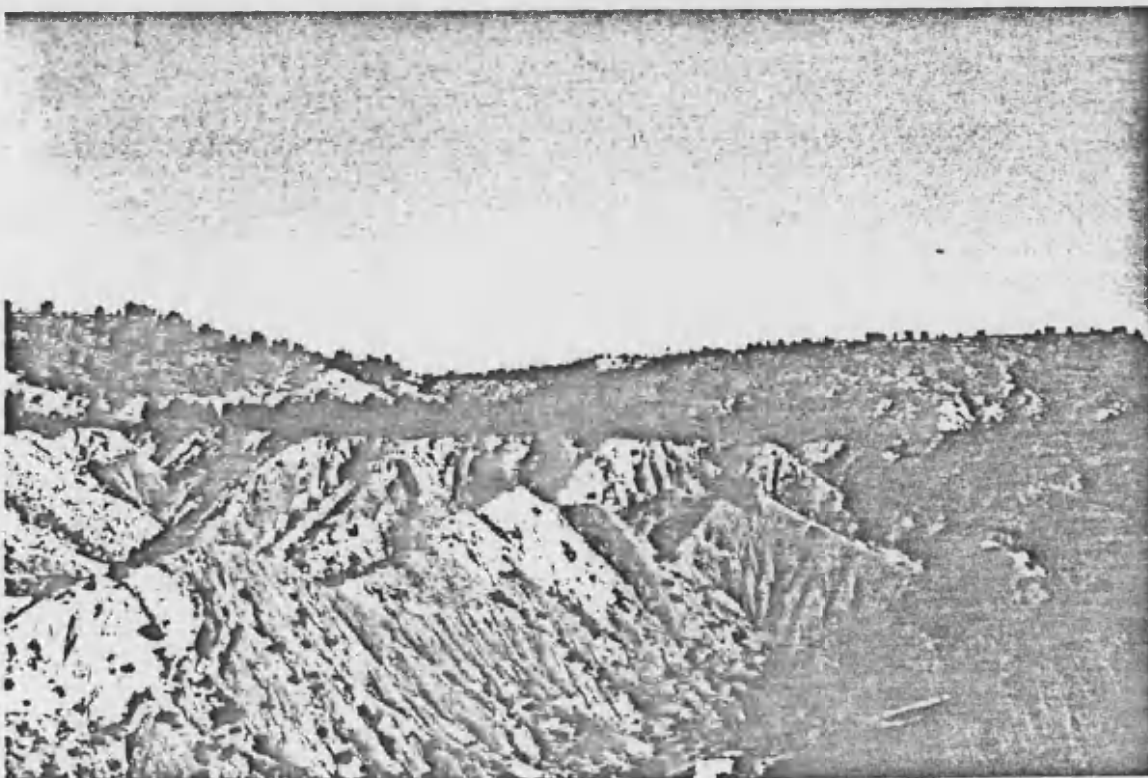
Fotografía 3.1. Zona de estudio: Puçol (PU). Vista de una de las tres laderas estudiadas. El bosque está dominados por *Pinus halepensis*.



Fotografía 3.2. Zona de estudio: Anna (AN). Vista aérea (oblicua) de la cuenca estudiada. Parte alta o cabecera de la microcuenca.



Fotografía 3.3. Zona de estudio: Anna (AN). Vista aérea (vertical) de la cuenca estudiada.



Fotografía 3.4. Zona de estudio: Requena (RE). Badlands sobre arcillas del Keuper a partir del dismantelamiento de un glacis



Fotografía 3.5. Zona de estudio: Torís (TU). Ladera norte vegetada y con movimientos en masa localizados, al pie campos de cultivo.



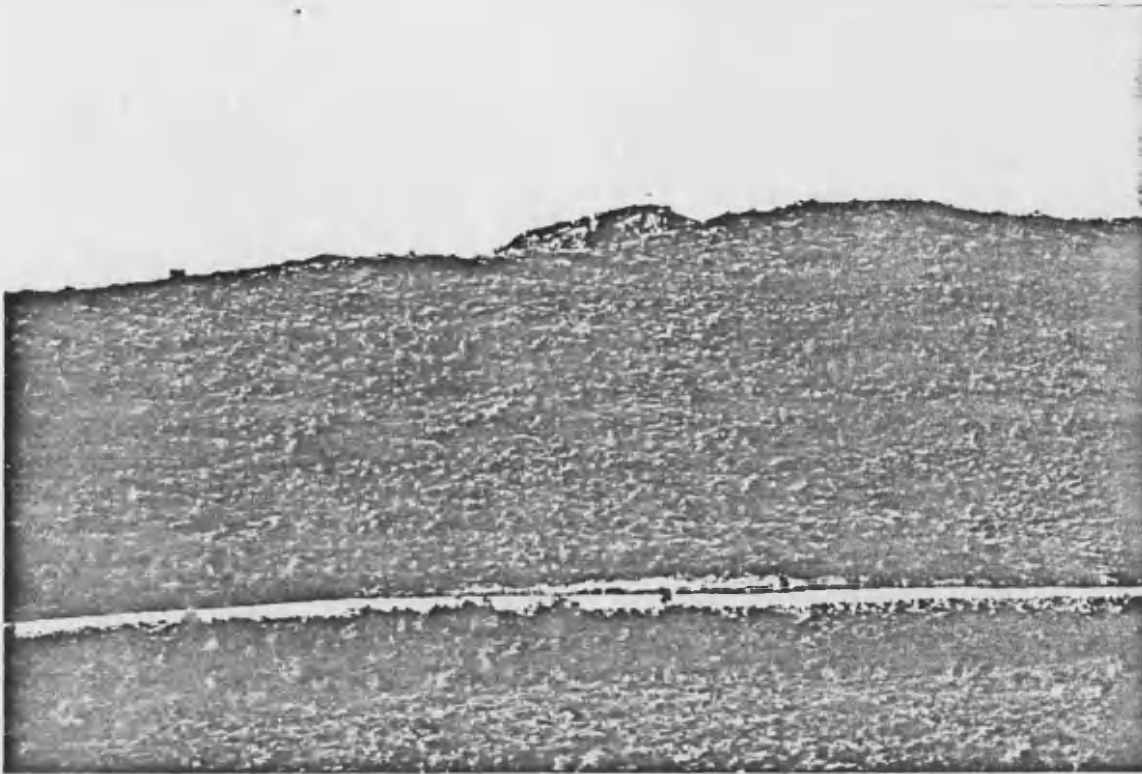
Fotografía 3.6. Zona de estudio: Monnegre (MN). Badlands sobre margas, al fondo la zona sobre arcillas del Keuper.



Fotografía 3.7. Zona de estudio: Petrer (PR). Badlands, ladera sur.



Fotografía 3.8. Zona de estudio: Petrer (PR). Campos de cultivo abandonados y acarcavados.



Fotografía 3.9. Zona de estudio: Genovés (GE). Vista la ladera sur de la cuenca, con la abundante regeneración de *Pinus halepensis*.



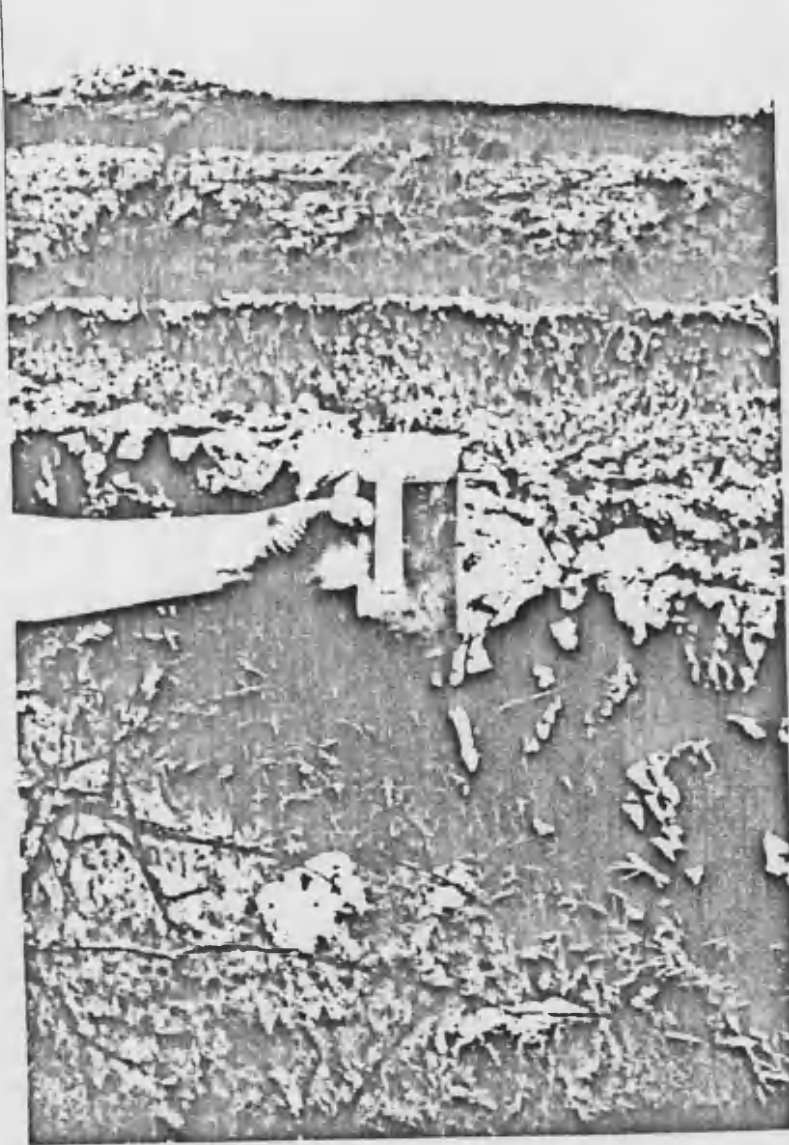
Fotografía 3.10. Zona de estudio: Bolbens (BO). Vista de la ladera ("hollow") tres años después del incendio.



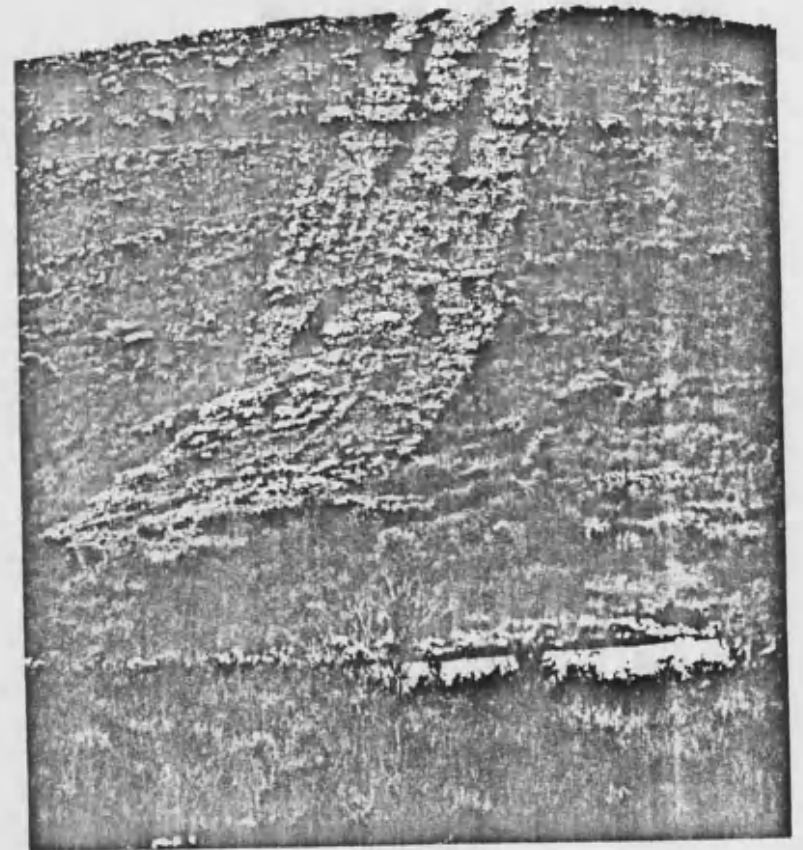
Fotografía 3.11. Zona de estudio: Pedralba (PE). Ladera campos de cultivo abandonados del fondo de valle seis meses después del incendio.



Fotografía 3.12. Zona de estudio: Pedralba (PE). Vista de la zona de Pedralba desde otra perspectiva, dos años después del incendio.



Fotografía 3.13. Zona de estudio: Genovés (GE). Vista del cortafuegos con los campos de cultivo en la base de la ladera. →



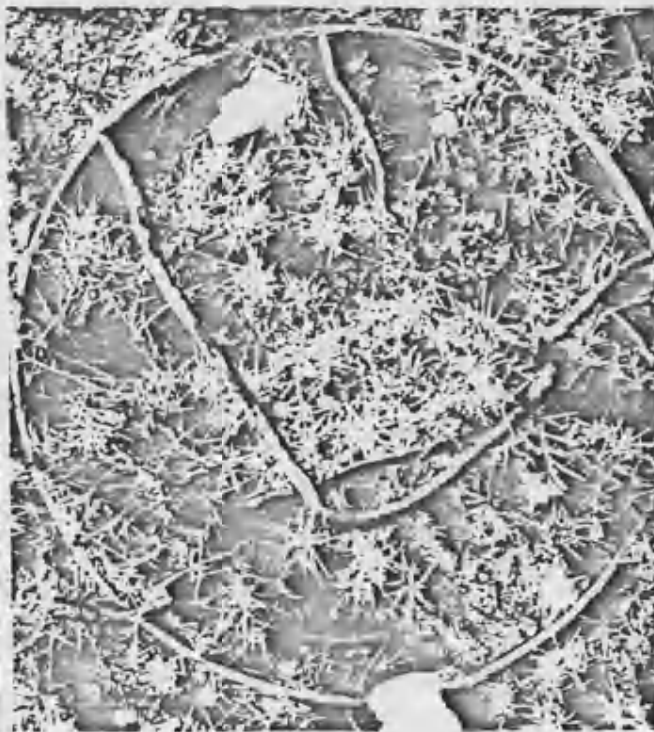
Fotografía 3.14. Zona de estudio: Vall de Gallinera (GA). Vista del infiltrómetro de cilindro y del sistema de terrazas al fondo. ←



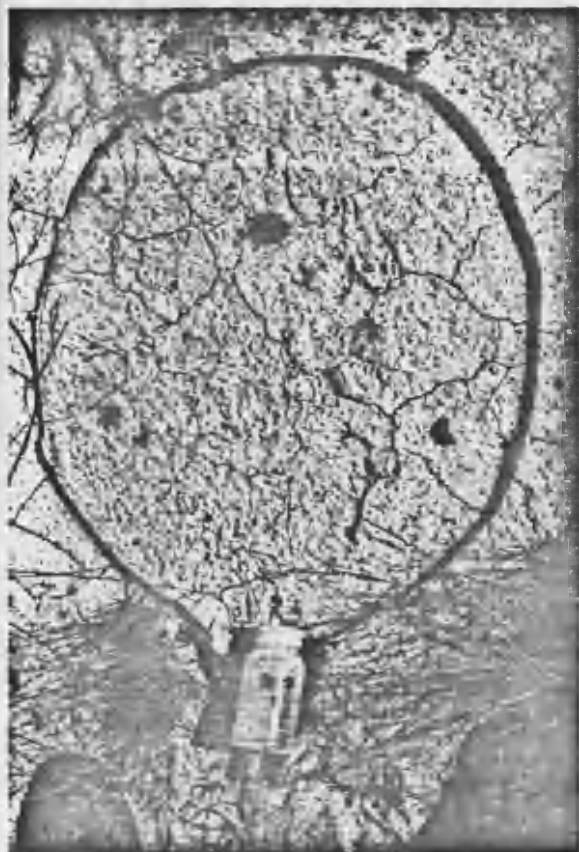
Fotografía 3.15. Infiltrómetro de cilindro durante un experimento en Genovés.



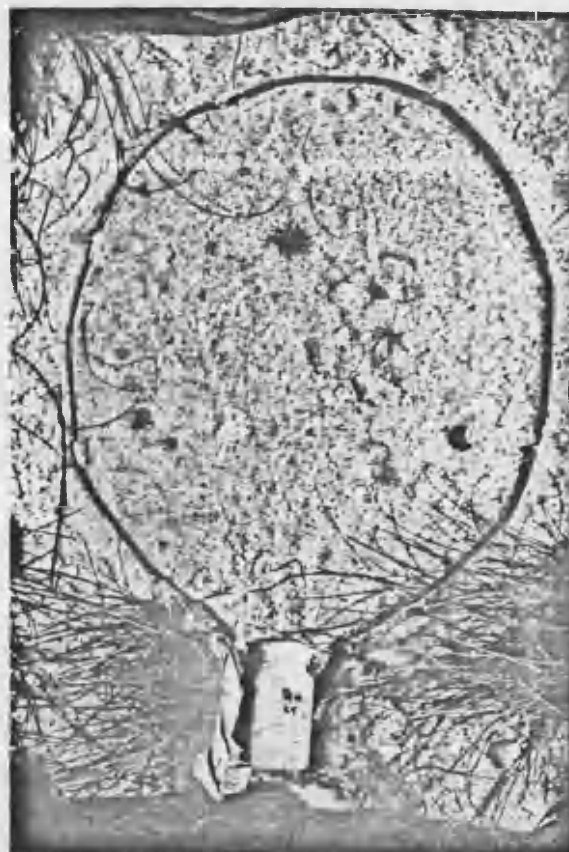
Fotografía 3.16. Parcela fija sobre un suelos incendiado y agrietado en la Vall de Gallinera.



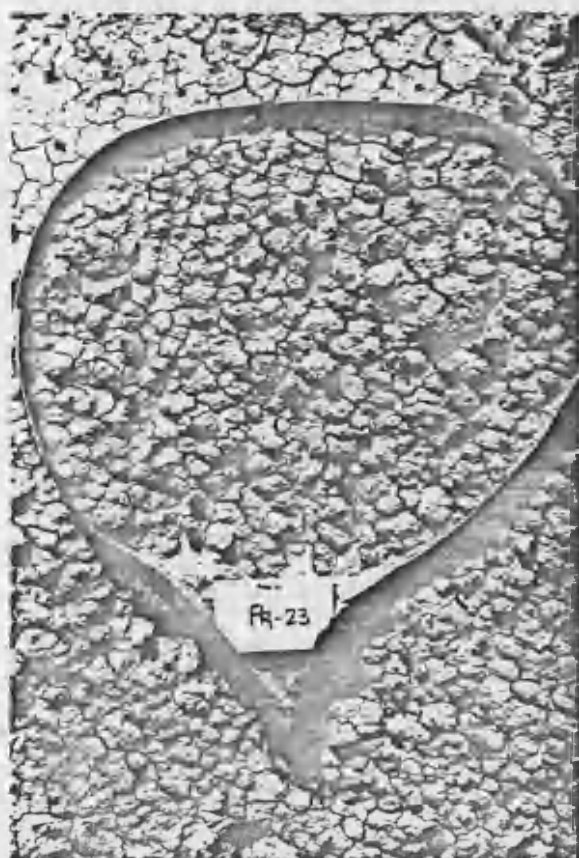
Fotografía 3.17. Parcela móvil en un suelo incendiado y vegetado en la Vall de Gallinera.



Fotografía 3.34. Superficie de pediment típica en la base de las laderas de Badland, Petrer (PR22). Antes del experimento.



Fotografía 3.35. Superficie de pediment después del experimento (PR22).



Fotografía 3.36. Superficie típica de ladera de Badland, Petrer (PR 23). Antes del experimento.



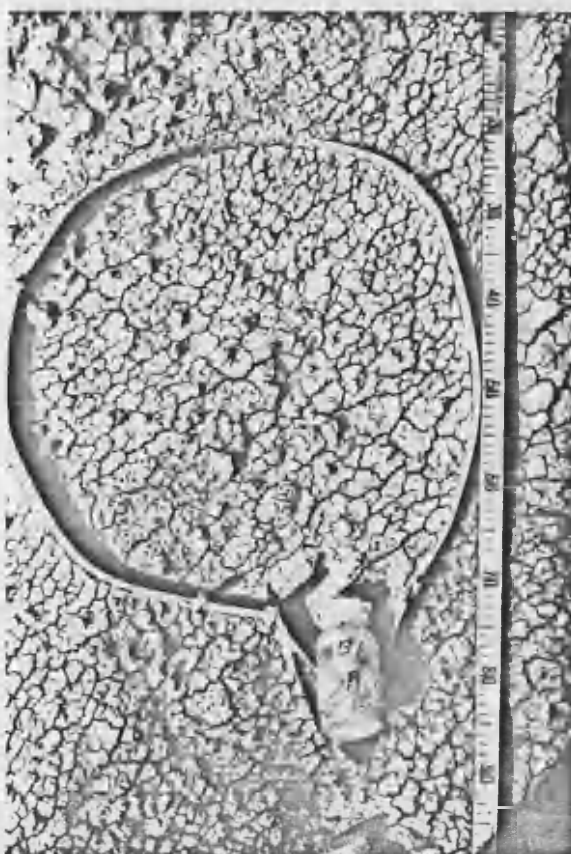
Fotografía 3.37. Superficie de Badland después del experimento (PR23).



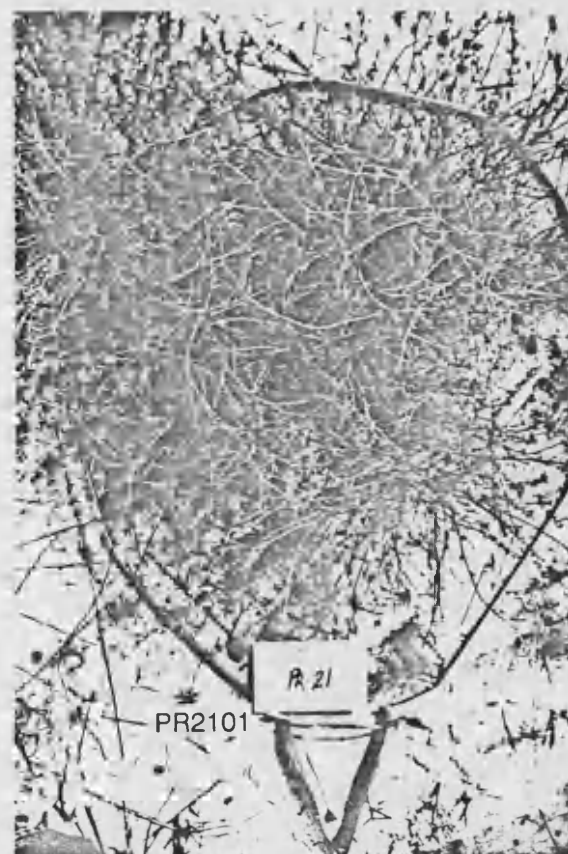
Fotografía 3.30. Badland con un fuerte agrietamiento (PR30).



Fotografía 3.31. Suelo con enlosado de piedras en Petrer (PR01).



Fotografía 3.32. Badland con una tipología típica de "pop-corn" en Monnegre (MN13).



Fotografía 3.33. Campo de cultivo vegetado, Petrer (PR21).



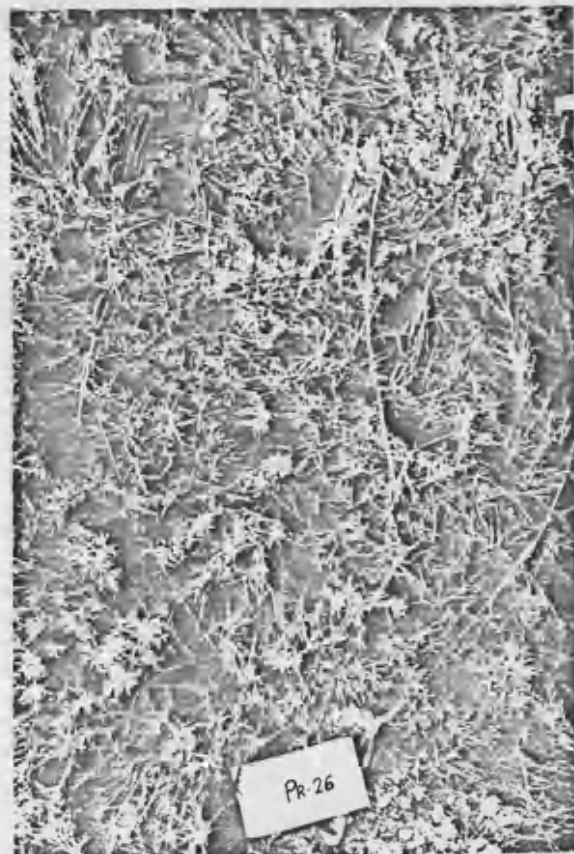
Fotografía 3.26. Ladera norte en Petrer. Suelos vegeados en la parte alta y Badlands en la baja.



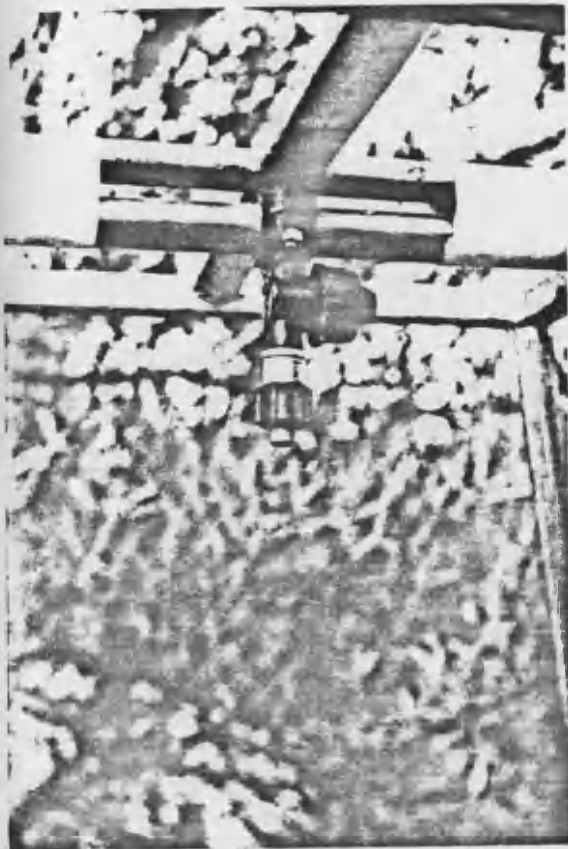
Fotografía 3.27. Suelo vegeado en Petrer en la ladera norte (PR02).



Fotografía 3.28. Suelo vegeado en la ladera sur (PR04).



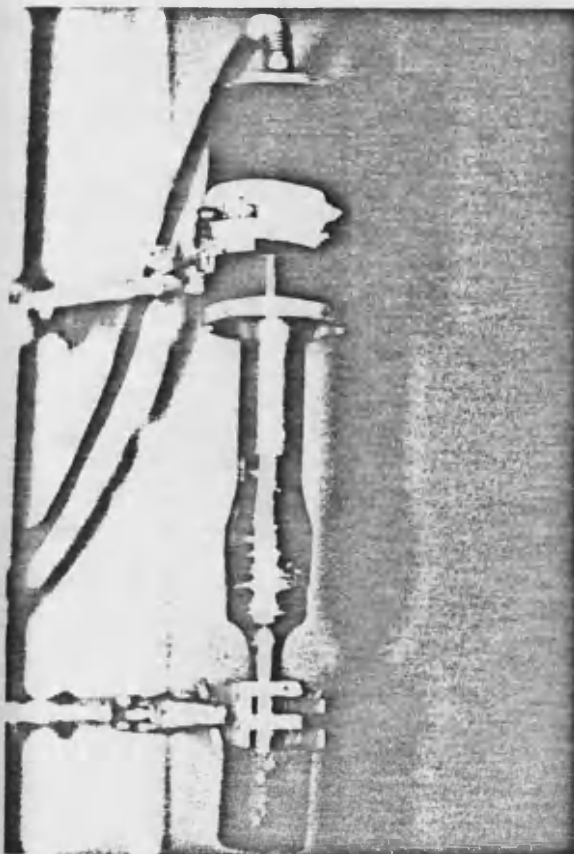
Fotografía 3.29. Suelo vegeado en la ladera norte (PR26).



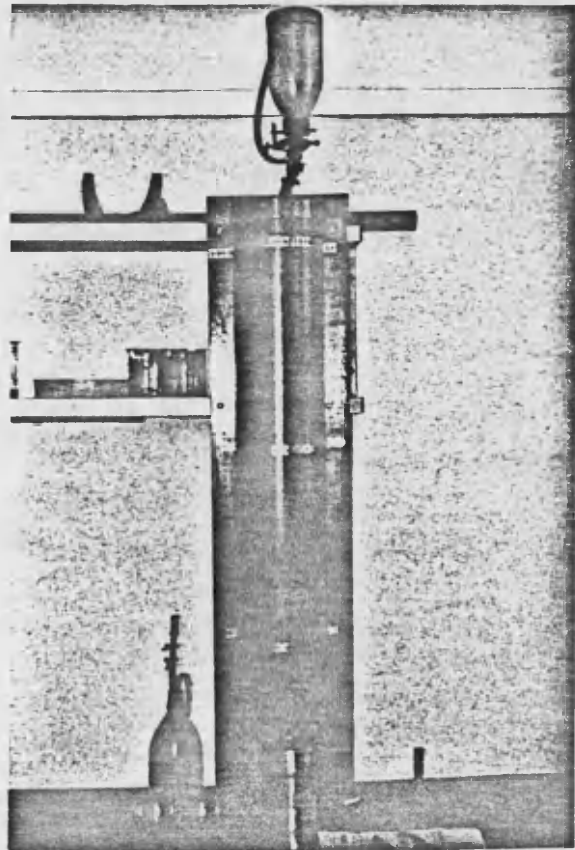
Fotografía 3.22. Detalle de la boquilla, su enganche al portaboquillas y a los conductos de agua y amazón del simulador.



Fotografía 3.23. Simulador de lluvia en funcionamiento durante un experimento sobre un suelo recientemente incendiado.



Fotografía 3.24. Disruptor de ultrasonidos.



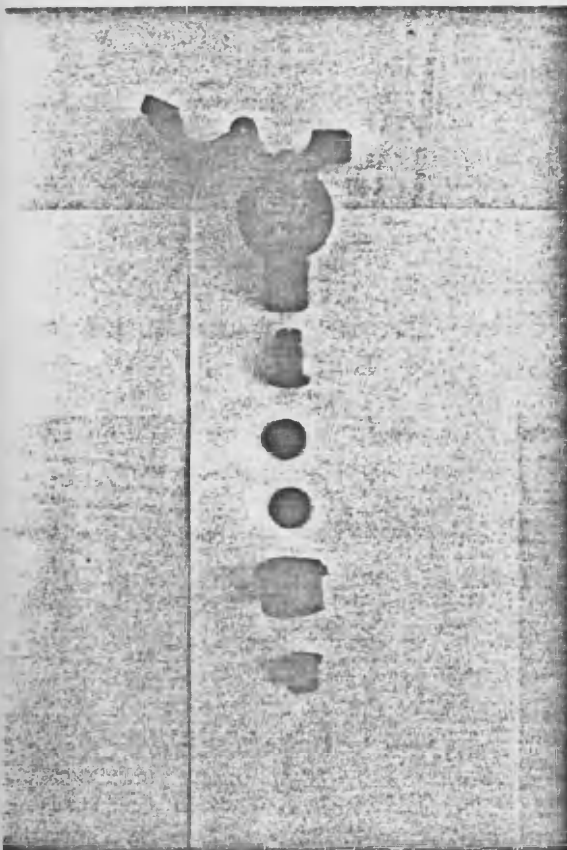
Fotografía 3.25. Disposición del productor de gotas para el test de la gota ("Drop-test").



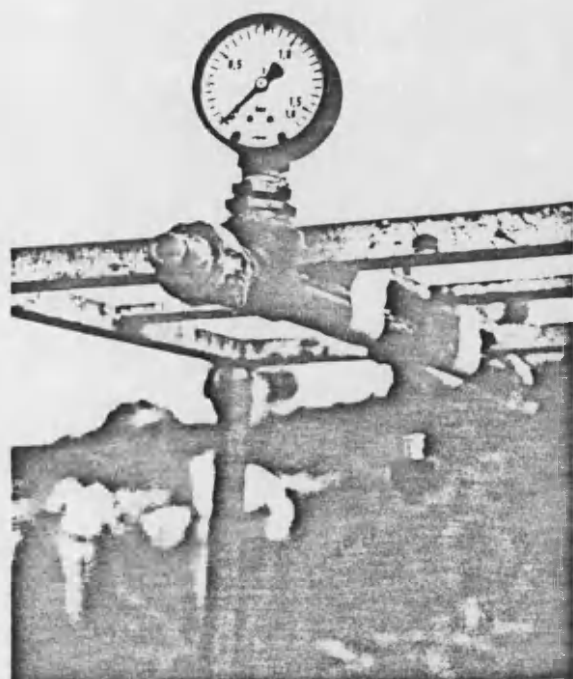
Fotografía 3.18. Simulador de lluvia con protector de viento junto al equipo de presurización.



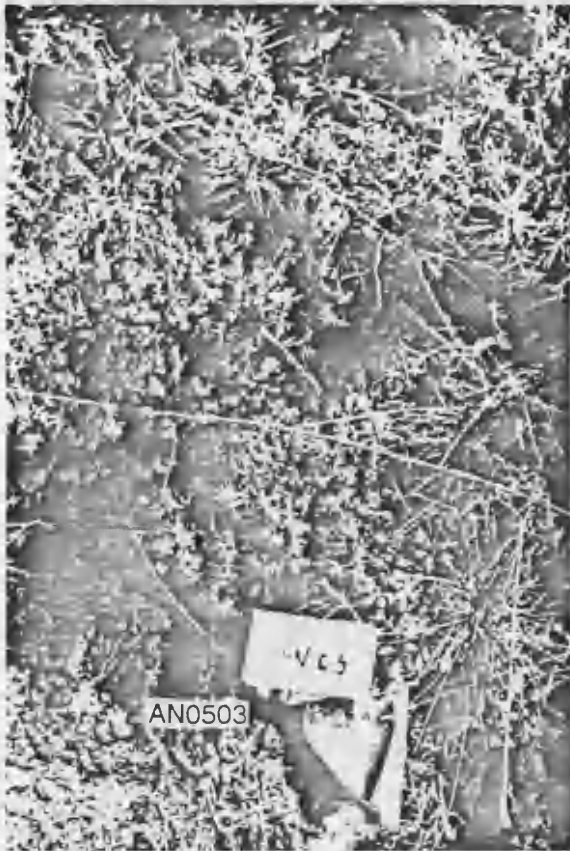
Fotografía 3.19. Estructura del simulador con la disposición del manómetro, Portaboquilla, boquilla y conductos del agua presurizada.



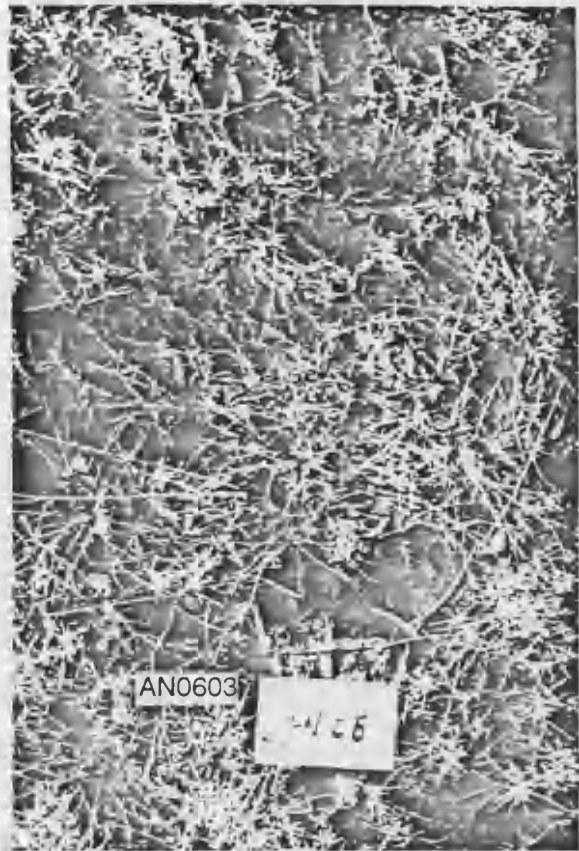
Fotografía 3.20. Detalle de los componentes de la boquilla y portaboquillas.



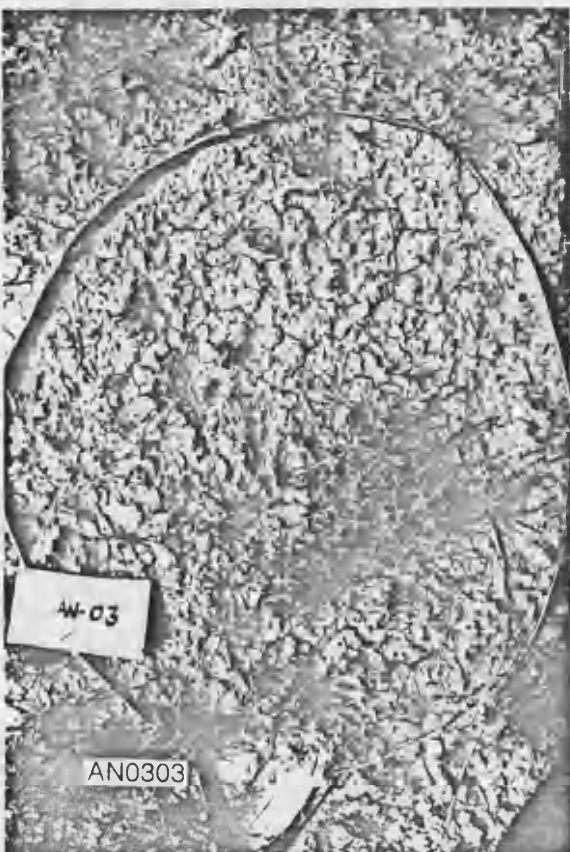
Fotografía 3.21. Detalle de la disposición del manómetro conducto de agua y su acople a la estructura.



Fotografía 3.38. Ladera norte en Anna. Suelo vegetado: herbáceas y *Thymus longiflorus* (AN05).



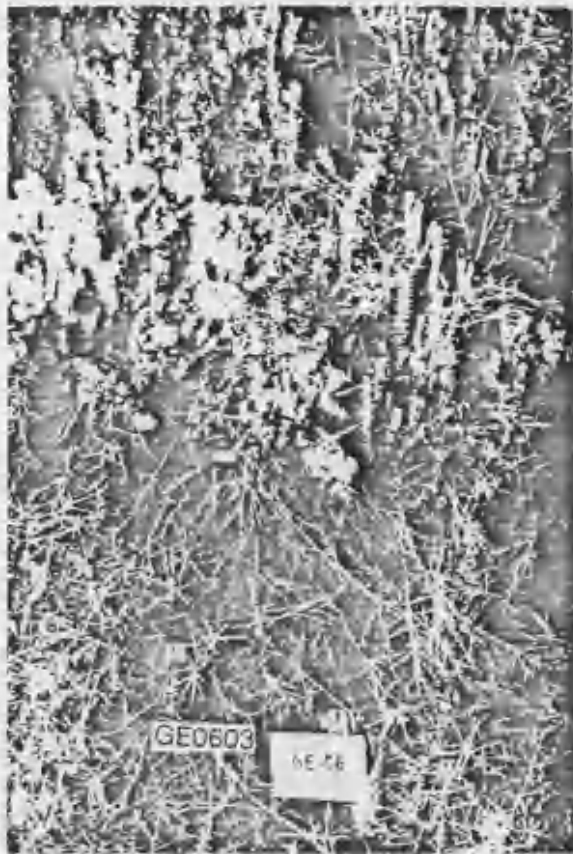
Fotografía 3.39. Ladera norte en Anna. Suelo vegetado con herbáceas (AN06).



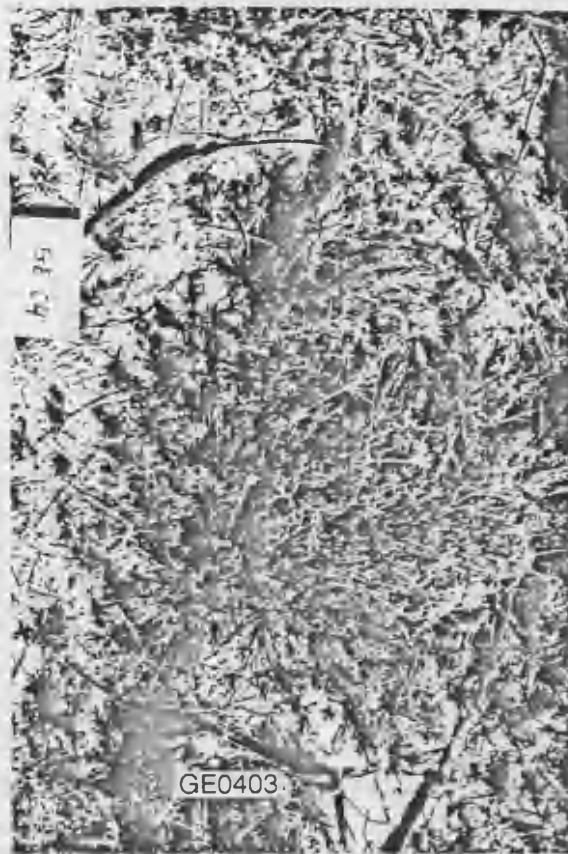
Fotografía 3.40. Ladera sur en Anna. Suelos degradado (Badland en Keuper), (AN03).



Fotografía 3.41. Ladera sur, zona repoblada, en Anna. Hojarasca de *Pinus halepensis*, (AN01).



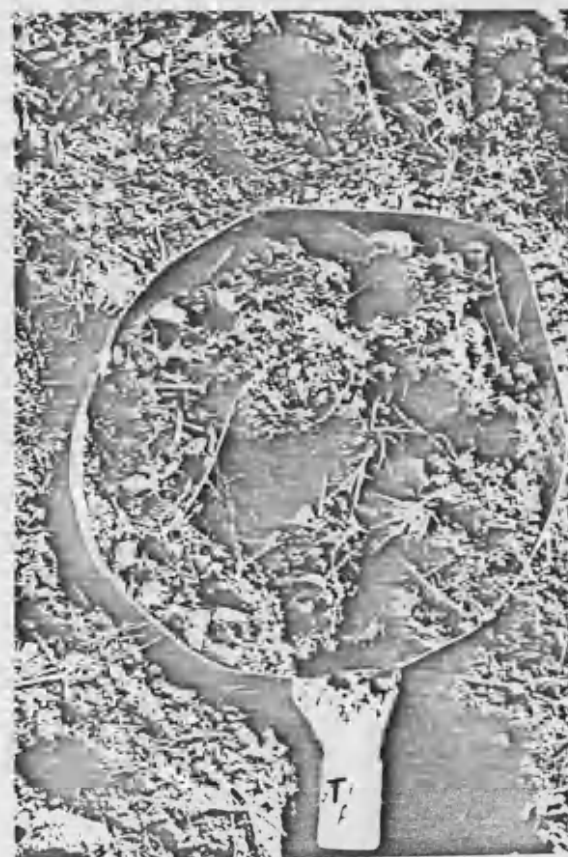
Fotografía 3.42. Ladera norte de Genovés, suelo vegetado con herbáceas y *Erica Multiflora* (GE06).



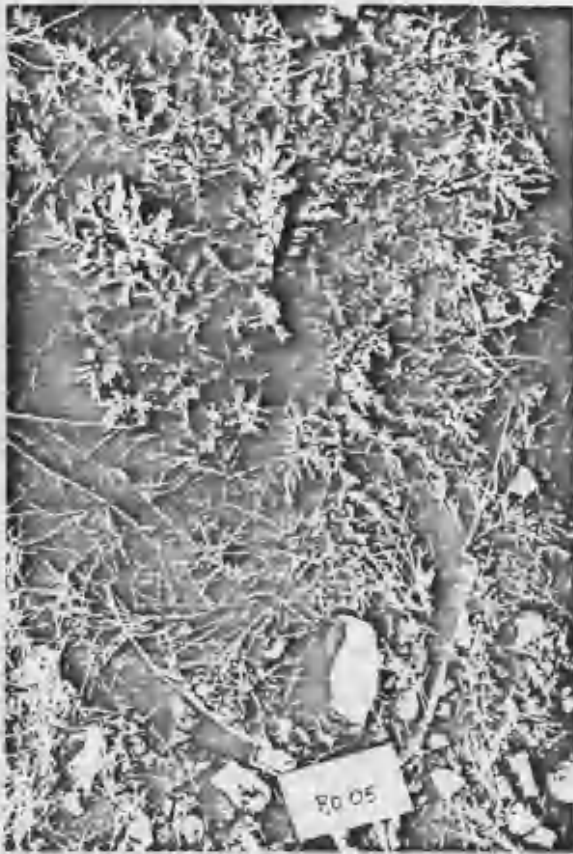
Fotografía 3.43. Suelo con *Thymus vulgaris* en los campos abandonados de Genovés (GE04).



Fotografía 3.44. Suelo de la parte media de la ladera sur, con ligero encostramiento y restos de cañas (GE0303).



Fotografía 3.45. Suelos cultivado en las terrazas de la Vall de Gallinera (GA01).



Fotografía 3.46. Suelo con alto índice de revegetación tras el incendio y el rebrote de *Juniperus oxycedrus* (BO05).



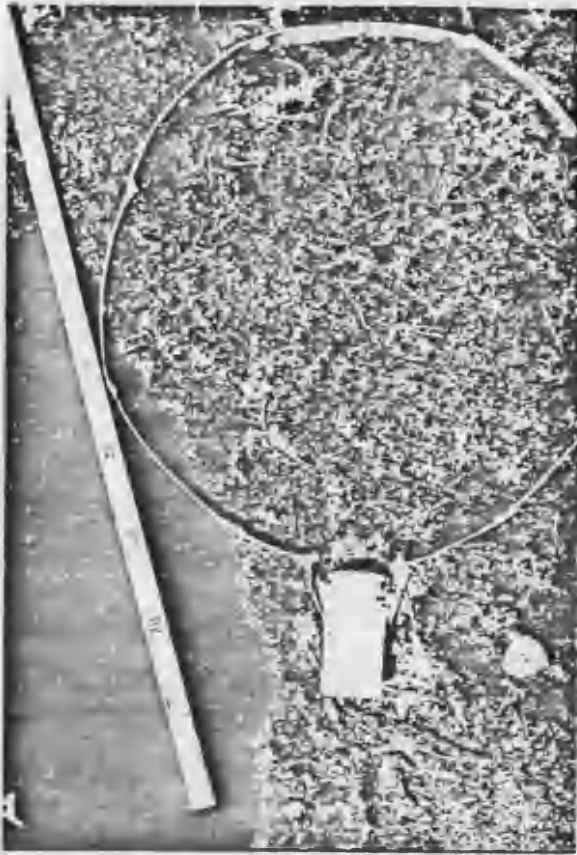
Fotografía 3.47. Suelo con escasa revegetación (*Pinus halepensis*) tres años después del incendio (BO08).



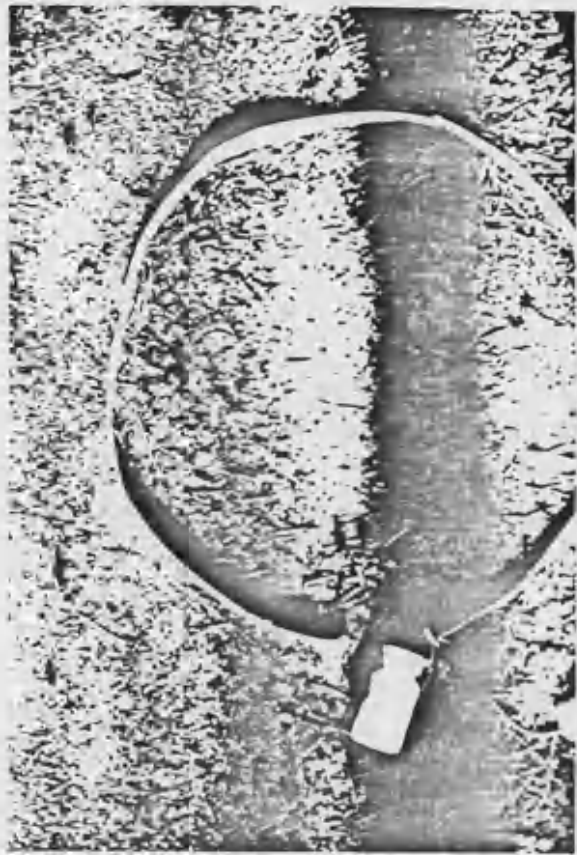
Fotografía 3.48. Suelo con excelente revegetación tras el incendio, tanto por las plantas anuales como por el rebrote de *Chamaerops humilis* (BO09).



Fotografía 3.49. Vista del abundante mantillo en los suelos de Puçol. (PU02).



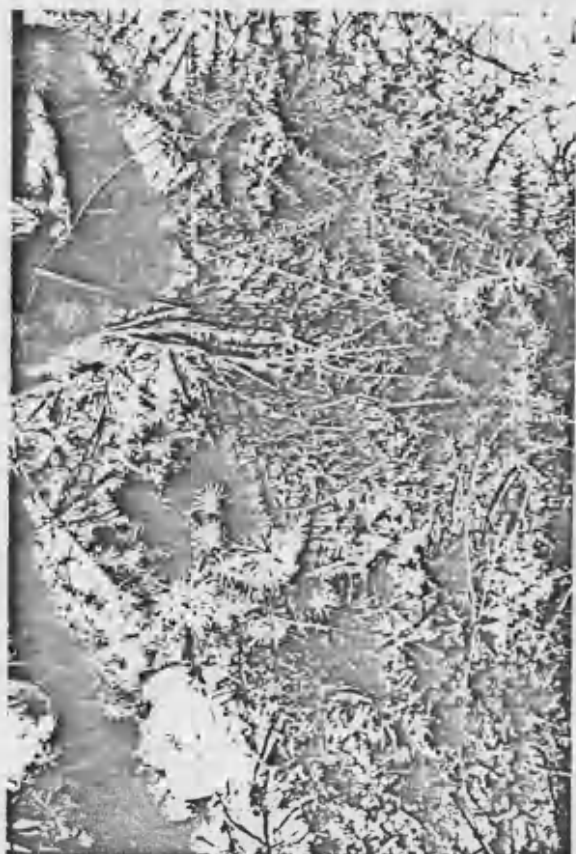
Fotografía 3.50. Suelo recientemente incendiado. Pedralba (PE04).



Fotografía 3.51. Encostramiento superficial del suelo cuatro meses después del incendio, Pedralba (PE04).



Fotografía 3.52. Suelo revegetado un año después del incendio (PE04).



Fotografía 3.53. Suelo revegetado dos años después del incendio (PE04).



Fotografía 3.54. Campo de cultivo poco vegetado y con encostramiento superficial, Petrer (PR20).



Fotografía 3.55. Badland sobre arcillas del keuper. Requena, (PE06).



Fotografía 3.56 Ladera de Badland, superficie de erosión, con pediment en la base, área de transporte. Petrer.



Fotografía 3.57. Ladera sur sobre derrubios arenosos procedente del glacis. Petrer.

4. INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA Y EXPORTACIÓN DE SEDIMENTOS

Los experimentos realizados durante los cuatro últimos años, nos han permitido conocer los rasgos principales del comportamiento hidrológico de los suelos de cada zona de estudio, y diferenciar dentro de ellas los ambientes más característicos.

Aunque disponemos de información de las distintas estaciones del año, en este capítulo sólo se hace referencia a la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos durante los periodos secos, con el fin de obtener una muestra de datos lo más homogénea y comparable entre las distintas zonas. Concretamente, los datos presentados ahora, proceden de experimentos realizados en los meses de julio y agosto de 1990 y 1991, con contenidos en humedad inferiores al 5 %. Sólo en el caso de las zonas incendiadas, se presenta también información de estaciones húmedas, ya que la dinamicidad hidrológica de los suelos quemados, hace necesario referenciar estos datos para una mejor comprensión de su comportamiento ante la lluvia. No obstante, para el resto de los ambientes el estudio de la influencia de la humedad del suelo se desarrolla en los capítulos 5 y 6.

En general, en el País Valenciano, la infiltración es un proceso altamente variable, como lo demuestra el que podemos encontrar tasas de infiltración final

estable que varían entre el 0 y el 100 % del agua precipitada cuando, la medición se realiza a partir de lluvia simulada, o bien entre 0 y 1152 mm h⁻¹, cuando se realiza con infiltrómetro de cilindro.

Este comportamiento espacial tan dispar, hace que los procesos hidrológicos y erosivos dependientes de la infiltración también lo sean. Así, la producción de escorrentía en los suelos del País Valenciano está caracterizada por una importante variabilidad espacial, como lo demuestra el que el rango de valores del Coeficiente de escorrentía (*Ce*) varíe entre 0 y 0,90 y las escorrentías medias (*Esm*) de nuestros experimentos entre 0 y 49,48 mm h⁻¹, sobre 55 mm h⁻¹ posibles.

Otro proceso afectado por la alta variabilidad de la infiltración es la pérdida de suelo. Las tasas de erosión varían desde cero, en los suelos donde la infiltración es del 100 % de la precipitación, hasta alcanzar tasas de 4234 g m⁻² h⁻¹ en suelos muy degradados. Estas mismas variaciones se encuentran en la concentración de sedimentos (de 0 a 120,03 g l⁻¹), y en la salinidad de la escorrentía (de 25 a 5159 Ms).

Estas importantes variaciones espaciales se repiten en todas las zonas de estudio, y no sólo afectan al parámetro hidrológico *fc* (tasa de infiltración final estable), sino también a la forma del hidrograma, al momento de iniciarse el encharcamiento, a la estabilización de la infiltración, etc.

4.1. La elevada infiltrabilidad de los suelos sobre areniscas del Bundsanstein. Puçol

En el caso de los suelos desarrollados sobre litologías duras como las areniscas del Bundsanstein, nos encontramos con que el rasgo más destacado es su alta infiltrabilidad. Según el modelo de Horton, ajustado a mediciones con infiltrómetro de cilindro, la tasa de infiltración potencial (*t* = 0) es de 8300 mm h⁻¹ en término medio para las veinte pruebas realizadas y de 10707 mm h⁻¹ en el caso extremo. Esta alta infiltrabilidad potencial es ratificada por la tasa de infiltración final estable, la cual es de hasta 1154 mm h⁻¹ en algunos puntos y de 958 mm h⁻¹ en su valor medio para los veinte experimentos realizados. Las pruebas con lluvia simulada ratificaron este comportamiento al no producirse escorrentía en ninguna de las 29 pruebas llevadas a cabo durante los meses de julio y agosto, con una intensidad de lluvia de 55 mm h⁻¹ y una duración superior en ocasiones a una hora.

4.1.1 Mediciones con lluvia simulada

De las 32 pruebas realizadas en total, sólo tres experimentos con una intensidad de lluvia de 180 mm h^{-1} , dieron lugar a escorrentía en la superficie de los suelos. Los valores de los parámetros hidrológicos más importantes obtenidos de las pruebas con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) se presentan en la tabla 4.1, en la cual se comprueba que de los 29 experimentos realizados, a pesar de que en cuatro de ellos se midió encharcamiento, en ninguno se apreció escorrentía superficial.

	<i>tp</i> min	<i>te</i> min	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	α	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>to</i> min	<i>tc</i> min
media	26,04	se	0,00	0,00	0,00	se	55,00	se	se
std	14,63	se	0,00	0,00	0,00	se	0,00	se	se
máxima	45,00	se	0,00	0,00	0,00	se	55,00	se	se
mínima	4,14	se	0,00	0,00	0,00	se	55,00	se	se
nº	4	0	29	29	29	0	29	0	0

Tabla 4.1. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valores máximos, valores mínimos y número de mediciones en los suelos sobre areniscas del Bundsanstein de Puçol. Datos obtenidos con experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1} , durante 60 minutos) sobre suelos secos, todos ellos sin escorrentía. se, sin escorrentía

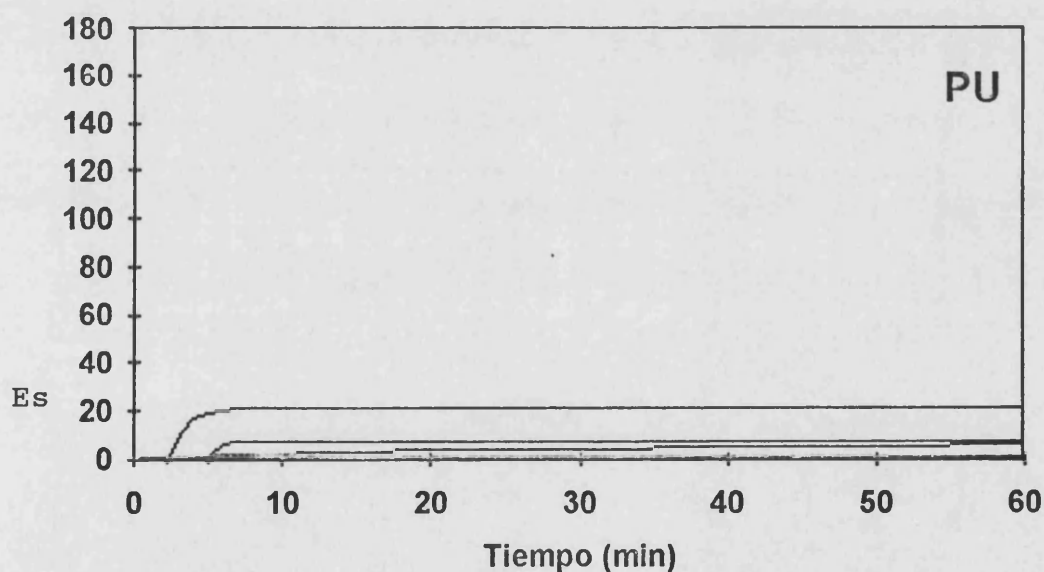


Figura 4.1. Curvas de escorrentía de tres suelos de Puçol obtenidas con pruebas excepcionales de lluvia simulada (precipitación: 180 mm h^{-1}) sobre suelos secos. En ninguno de los experimentos estándar (55 mm h^{-1}) realizados en verano se produjo escorrentía

Incluso con intensidades de precipitación muy elevadas (180 mm h^{-1}), nos encontramos con respuestas hidrológicas poco abundantes, en las que los coeficientes de escorrentía son inferiores al 10 %, y las tasas de infiltración estable

son de 175 mm h^{-1} en dos casos y de 152 mm h^{-1} en un tercero (ver figura 4.1). Las formas de las curvas de escorrentía de los tres experimentos de elevada intensidad presentan inicios muy incipientes (antes del minuto 5) y su estabilización es también muy rápida (minutos 5,09, 5,71 y 26), lo que nos confirma que la pendiente de la curva de infiltración es muy fuerte ($1,88$ y $0,88 \text{ min}^{-1}$ en dos de los casos). Sin duda este comportamiento es fruto de la alta intensidad de la lluvia, aunque en uno de los tres casos, la elevada infiltrabilidad de los suelos consigue que la escorrentía media sea muy baja (3 mm h^{-1}), e incluso que la curva de infiltración tenga una pendiente poco acentuada ($0,05 \text{ min}^{-1}$).

4.1.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

La alta infiltrabilidad de los suelos sobre areniscas se ve reflejada en las mediciones con infiltrómetros de cilindro (ver tabla 4.2). Es de destacar, tanto los altos valores de f_c como los de f_o , así como su reducida variabilidad espacial en comparación con otras zonas de estudio. Un ejemplo de la alta capacidad de absorción de estos suelos está en que la tasa de infiltración inicial mínima es de más de 6000 mm h^{-1} , mientras que el valor estable más bajo de la tasa de infiltración es de 705 mm h^{-1} .

PUÇOL	f_o mm h ⁻¹	$i\alpha$ min ⁻¹	f_c mm h ⁻¹
media	8300,91	0,46	958,36
std	1125,90	0,11	147,32
máxima	10707,63	0,67	1154,92
mínima	6097,03	0,31	705,60
nº	20	20	20

Tabla 4.2. Resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro. Parámetros de la ecuación de Horton: f_c , f_o y $i\alpha$. Media, desviación estándar (std), valores máximos, mínimos y número de mediciones en los suelos sobre areniscas del Bundsanstein en Puçol. Experimentos realizados en verano, con contenidos de humedad en la muestra superficial menores al 4 %, suelos secos

La pendiente media de la curva de infiltración ($0,46 \text{ min}^{-1}$) es ligeramente inferior a la de otras zonas de estudio, posiblemente debido a que el flujo en los suelos arenosos está controlado por su alta conductividad hidráulica y no por la sorptividad, ya que la agregación es muy pobre. Es de destacar respecto al parámetro $i\alpha$, que éste es muy regular, teniendo un rango entre $0,67$ y $0,31 \text{ min}^{-1}$ y una desviación estándar muy baja ($0,11$).

La regularidad de las curvas de infiltración medidas con encharcamiento se puede comprobar visualmente en la figura 4.2, lo que confirma la reducida variabilidad espacial de estos suelos en relación a otras zonas de estudio, así como su alta infiltrabilidad.

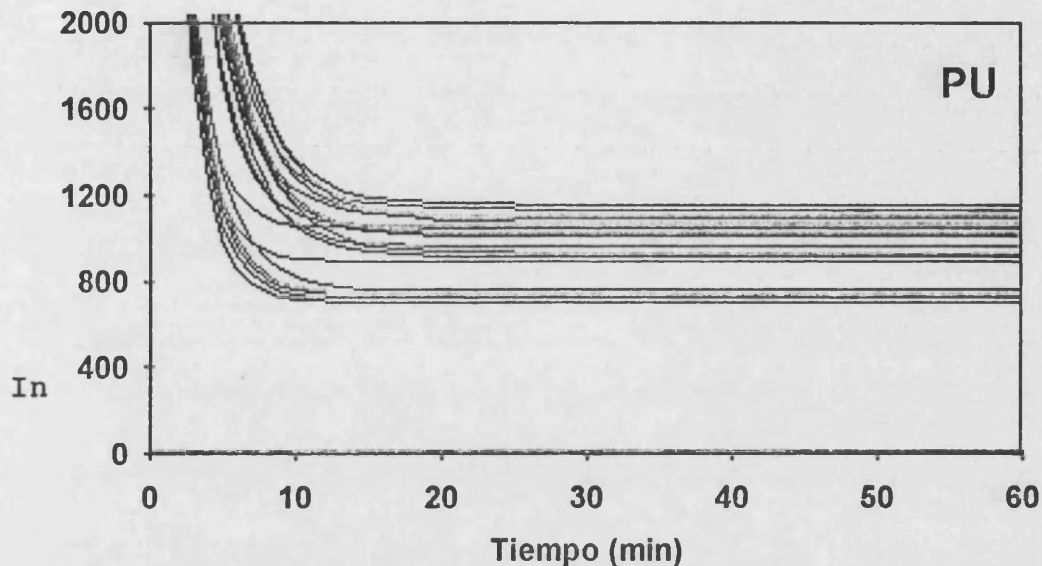


Figura 4.2. Curvas de infiltración obtenidas con infiltrómetro de cilindro sobre suelos secos. Areniscas del Bundsanstein. Puçol

4.1.3. Erosión del suelo y salinidad de la escorrentía

Como consecuencia de la elevada infiltrabilidad de los suelos, la arroyada superficial es inexistente en estos paisaje cuando los suelos están secos. Tan sólo con altas intensidades de precipitación (180 mm h^{-1}) se produce escorrentía, si bien ésta tan sólo es capaz de arrastrar un reducido volumen de sedimentos ($2,4 \text{ g l}^{-1}$), y generar una pérdida de suelo insignificante a pesar de la alta intensidad de lluvia utilizada ($19,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Un ejemplo de la reducida pérdida de suelo es que la exportación total de sedimentos (sedimentos de campo, *sy*), ha sido de 8,82 g para los tres experimentos en conjunto, mientras que la duración de éstos fue de 154 min, con una intensidad, recordemos, de 180 mm h^{-1} . La salinidad de la escorrentía también ha sido muy baja (176 mS), lo que nos indica que la pérdida de suelo por medio de solutos es insignificante.

Tanto la concentración de sedimentos como la salinidad de la escorrentía desciende con el tiempo, lo que nos indica un agotamiento del suelo susceptible de

ser erosionado. Es de destacar, el elevado índice de decrecimiento de conductividad eléctrica de la escorrentía (-3,3) frente al de la concentración de sedimentos (-0,02).

Prueba	<i>sd</i> g ⁻¹	<i>sy</i> g	<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>	<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
PU0301	4,44	3,91	16,68	-0,05	186,50	-1,63
PU0401	0,58	0,68	3,64	0,00	158,33	-3,70
PU0501	1,99	4,23	38,00	-0,02	185,00	-4,61

Tabla 4.3. Erosión en los suelos sobre areniscas del Bundsanstein en Puçol. Datos provenientes de los tres experimentos excepcionales (intensidad de la lluvia, 180 mm h⁻¹) sobre suelos secos. Concentración de sedimentos (*sd*), sedimentos de campo (*sy*), tasa de erosión (*er*), tendencia temporal de la concentración de sedimentos (*tcs*), conductividad eléctrica de la escorrentía (*Sa*) y tendencia temporal de la conductividad eléctrica (*ts*). En ninguno de los experimentos estándar (55 mm h⁻¹) realizados en verano se produjo escorrentía

* * *

A modo de resumen, podemos decir que tanto con infiltrómetro de cilindro como con lluvia simulada, las mediciones realizadas demuestran la altísima infiltrabilidad de los suelos sobre areniscas del Bundsanstein, que en la mayoría de los casos se encuentra muy por encima de los límites que el método de simulación de lluvia aplicado permiten medir. La variabilidad espacial de los procesos de infiltración, atendiendo a los datos de infiltrómetro es no obstante baja y confirma la hipótesis de que se trata de suelos con muy alta capacidad de infiltración, determinada esencialmente por las propiedades del suelo: elevado contenido en materia orgánica, textura grosera y cubierta vegetal casi total.

Con chaparrones de una hora e intensidades de lluvia inferiores a 55 mm h⁻¹, estamos en condiciones de confirmar que la generación de escorrentía en estos ambientes no responde a mecanismos Hortonianos o superficiales, sino que en todo caso se producirá subsuperficialmente, bien por acumulación en la base de la ladera o por flujo directo (preferente) al cauce.

4.2 Los abarrancamientos sobre margas del Senoniense en el sur del País Valenciano. Petrer y Monnegre

Al contrario que los suelos arenosos desarrollados sobre areniscas del Bundsanstein, los suelos sobre margas del Senoniense tienen un comportamiento hidrológico caracterizado, fundamentalmente, por las bajas tasas de infiltración, aunque ésto, se debe matizar por la existencia de una gran variedad de superficies en estos ambientes parcialmente degradados. Tanto en **Petrer** como en **Monnegre**,

son abundantes los suelos con coeficientes de escorrentía por encima de 0,5, y valores de f_c inferiores a 20 mm h^{-1} ante lluvias simuladas de 55 mm h^{-1} . Pero junto a éstos, coexisten otras superficies muy estables, las cuales pueden absorber toda el agua precipitada durante nuestros experimentos estándar (55 mm h^{-1} , durante más de 30 minutos).

La elevada variabilidad de los suelos sobre margas del Senoniense ha hecho que se distinguieran dos grandes grupos de suelos: suelos vegetados y no vegetados. A su vez, la alta variabilidad de la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos ha hecho que en cada uno de ellos distinguiéramos tres unidades muy claras: enlosados, *pediments* y laderas de *Badland*, dentro de las superficies no vegetadas, y distintos niveles de cubierta para las vegetadas (> 80, 70-40, y < 20 %). A pesar de esta clasificación en unidades "homogéneas", la variabilidad espacial dentro de cada una de ellas es muy elevada.

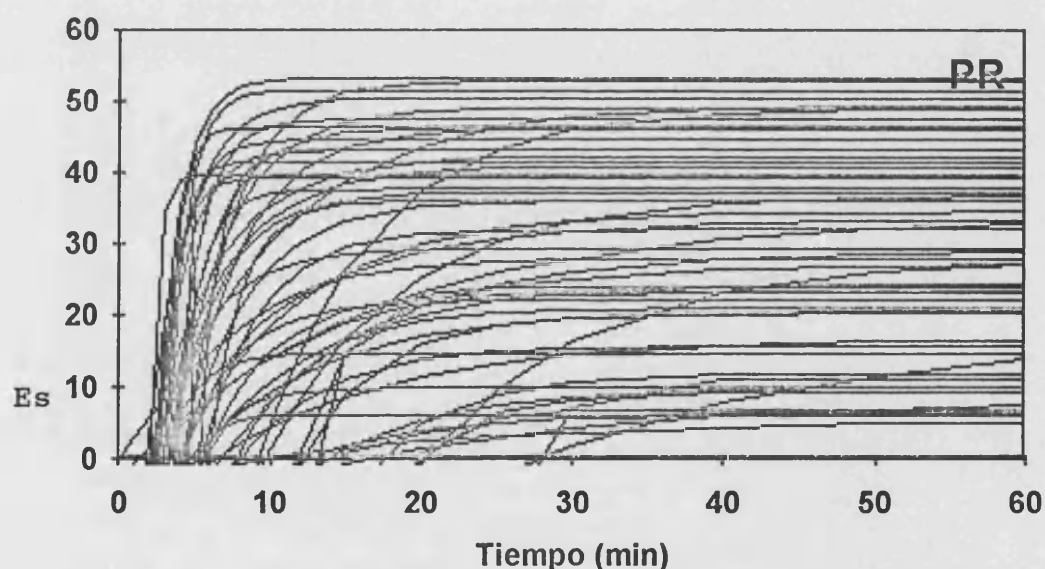


Figura 4.3. Curvas de escorrentía. Petrer. Precipitación, 55 mm h^{-1} , en todas las pruebas, sobre suelos secos (verano)

4.1.1. Respuesta a la lluvia simulada

Los experimentos realizados con el simulador de lluvia nos han permitido diferenciar entre distintos comportamientos hidrológicos y erosivos de las unidades de suelos seleccionadas en Petrer y Monnegre, además de ratificarnos la elevada variabilidad espacial de la infiltración, la reducida capacidad de absorción de agua y las elevadas tasas de erosión de estos suelos.

4.1.1.1. Suelos sin cobertura vegetal: enlosados, laderas y pediments de *Badland*.

Tanto en Petrer como en Monnegre, las superficies degradadas y desnudas de vegetación están dominadas por las laderas de los *Badland*, lo que explica el gran número de experimentos (76) realizados sobre estas superficies. Las áreas cubiertas por abundante pedregosidad son espacialmente menos importantes, pero son de gran interés científico, ya que de su comportamiento hidrológico-erosivo depende en parte el que las áreas degradadas se expandan o no. Aunque en otros ambientes semiáridos no ocurra esto (BRYAN y YAIR, 1982a), en el caso de los *Badland* de Petrer y Monnegre los *pediments* son poco relevantes espacialmente. En Monnegre están realmente ausentes debido a la fuerte incisión de las cárcavas y en Petrer se desarrollan normalmente asociados a los campos de cultivo del fondo de los valles, al pie de las laderas. Debido a la reducida presencia, el número de experimentos desarrollados sobre estos ha sido en proporción menor al de los otros ambientes.

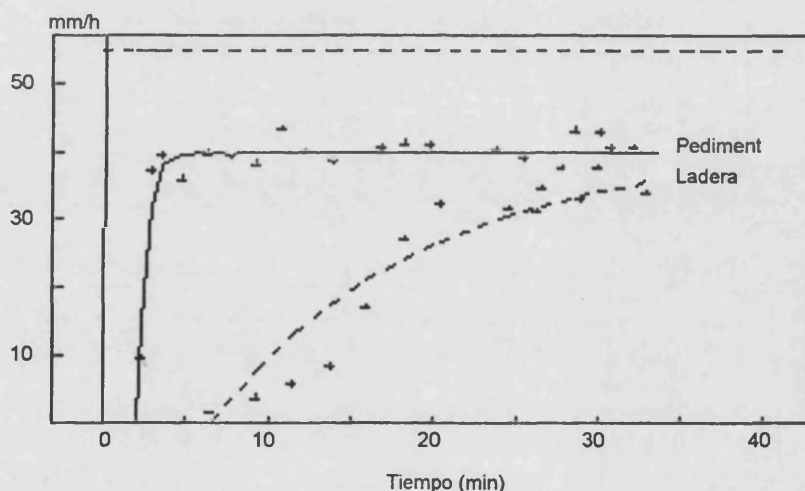


Figura 4.4. Curvas de escorrentía tipo para *pediment* y *ladera* de *Badland*. Experimentos estándar realizados en Petrer en suelos extremadamente secos en el verano de 1990

El rasgo hidrológico general de estos tres tipos de superficies es la reducida capacidad de infiltración (ver tabla 4.4). Los *pediments* son los que presentan las menores tasas de infiltración final estable ($13,75 \text{ mm h}^{-1}$), seguido por los suelos desnudos de las laderas de *Badland* ($16,57 \text{ mm h}^{-1}$) y los enlosados ($26,04 \text{ mm h}^{-1}$).

Hay que matizar que los rangos de variación difieren de una forma muy clara entre ellos. De hecho en las laderas de los *badlands*, en verano algunas superficies

alcanzan índices de agrietamiento muy altos (ver fotografía 3.30), lo que hace que en determinadas ocasiones (tan sólo 2 de 76 pruebas), se produzca la infiltración del 100 % de la precipitación. Al mismo tiempo, en estas laderas de *Badland*, hay suelos en los que los valores de f_c son iguales a cero, debido a la reducida conductividad hidráulica de este tipo de suelos, agravada por el encostramiento de las superficies.

Tanto, en los *pediments* como en los enlosados, los rangos de variación son menores, especialmente en el primer caso (ver tabla 4.4). Ésto se debe, a que la morfología de las laderas de los *badland* es muy variable espacial y temporalmente (CAMPBELL, 1982), mientras que los *pediments* son muy regulares y homogéneos. En las fotografías 3.34, 3.35 y 3.36, 3.37 se muestra la morfología de los *pediments* y las laderas de los *badland* antes y después de los experimentos, lo que confirma la extremada variabilidad espacial de los segundos, y con ello la influencia de la morfología superficial de los suelos sobre el proceso de infiltración en las laderas, donde el coeficiente de variación del parámetro f_c es del 70 % y del 77 % para α .

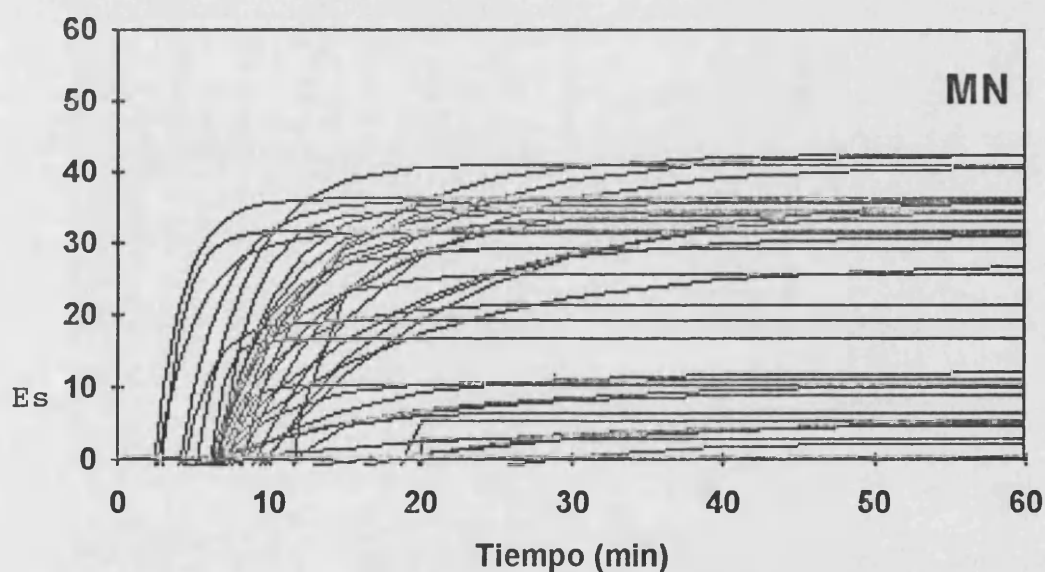


Figura 4.5. Curvas de escorrentía. Monnegre. Precipitación, 55 mm h^{-1} , en todas las pruebas, sobre suelos secos (verano)

La reducida infiltrabilidad de los suelos, aún se muestra más claramente en los valores de E_{sm} y C_e (ver tabla 4.4). Según estos parámetros, los *pediments* son los que mayor escorrentía producen ($34,7 \text{ mm h}^{-1}$) frente a enlosados y laderas ($28,45$ y $27,44 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente). Este comportamiento tan diferente de los *pediments* se debe a las características de los hidrogramas: encharcamientos incipientes (1,30 min), escorrentías casi instantáneas (2,05 min) y tiempo de estabilización de la

infiltración muy rápidos (15,6 min). Todo esto da lugar a curvas de escorrentía muy pronunciadas, en las cuales el parámetro α alcanza valores medios de $1,16 \text{ min}^{-1}$, cuatro veces superior al de los restantes grupos de suelos sin vegetación. En los suelos de las laderas, tanto tp como te , se producen rápidamente (1 min después que en los *pediments*), pero el inicio del hidrograma se retrasa hasta el minuto 5,64 (2,42 min más tarde en término medio que en los *pediments*), lo que se debe a la existencia de grietas en superficie, las cuales retardan la llegada de la escorrentía a la salida de la parcela. Un ejemplo de las distintas formas de las curvas de escorrentía tipo, para estos tres grupos de suelos sin vegetación, es que en los *pediments* se alcanza la máxima tasa de infiltración en la mitad de tiempo que en las laderas y en los enlosados.

Como antes se hacía mención para el caso de fc , en todos los parámetros indicadores de la forma del hidrograma (α , tc , to), así como en los de la formación de la escorrentía (tp y te), nos encontramos ante una menor variabilidad en los *pediments*. Los suelos de las laderas de los *badland* en cambio muestran rangos de variación muy amplios (ver tabla 4.4).

	tp min	te min	Esm mm h^{-1}	Ce	$Ce25$	α	fc mm h^{-1}	to min	tc min
Laderas									
media	2,38	3,63	27,44	0,49	0,72	0,31	16,57	5,64	32,62
std	1,64	2,73	11,92	0,20	0,20	0,24	11,46	4,06	19,10
máxima	10,30	19,30	49,48	0,90	1,05	1,47	55,00	27,69	100,83
mínima	0,36	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	9,51
nº	75,00	75,00	76,00	76,00	76,00	75,00	76,00	76,00	75,00
Pediments									
media	1,30	2,05	34,69	0,65	0,76	1,16	13,75	3,22	15,56
std	0,47	0,64	4,58	0,08	0,08	0,72	5,21	1,09	16,89
máxima	2,01	3,00	40,39	0,73	0,83	2,08	24,22	5,14	59,24
mínima	0,56	1,30	24,05	0,45	0,61	0,12	5,53	2,03	4,74
nº	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Enlosados									
media	2,34	3,09	28,45	0,42	0,56	0,34	26,04	3,09	26,84
std	1,31	1,44	19,93	0,17	0,20	0,22	12,31	1,81	19,54
máxima	4,15	4,20	43,55	0,79	0,94	0,87	44,71	6,84	83,97
mínima	0,40	1,20	7,61	0,14	0,20	0,06	4,52	0,13	8,76
nº	13	13	14	14	14	14	14	14	14

Tabla 4.4. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos. Zonas de Petrer y Monnegre (margas del Senoniense), superficies sin vegetación: laderas de *badland*, enlosados y *pediments*

Las claras diferencias entre los hidrogramas de los *pediments* y las de las laderas de *badlands* se comprueba al comparar las curvas de escorrentía de todos

los experimentos realizados en suelos secos en Petrer y Monnegre (figuras 4.3 y 4.5, respectivamente). En ellas, se comprueba la falta de curvas muy incipientes y con bajas tasas de infiltración en el caso de Monnegre, zona donde no existen *pediments*. En la figura 4.4, se compara la curva típica de los *pediment* con otra de un suelo de las laderas de *badland*. En la primera, la escorrentía se inicia muy rápidamente, alcanzándose la infiltración estable en pocos minutos, mientras que en los *badlands* todo esto se produce de una forma mucho más retrasada.

	<i>tp</i> min	<i>te</i> min	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	α	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>to</i> min	<i>tc</i> min
total (> 80 %)									
media	5,52	8,71	6,65	0,11	0,17	0,28	46,60	10,50	38,85
std	3,31	4,11	5,39	0,10	0,15	0,35	8,24	6,76	26,40
máxima	13,00	18,00	21,42	0,40	0,54	0,70	55	27,00	145,4
mínima	2,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,01	27,06	1,86	10,53
nº	22	22	31	31	31	26	31	26	26
media (40-70 %)									
media	5,01	6,91	12,40	0,23	0,31	0,36	38,54	8,07	29,92
std	4,10	5,85	11,43	0,21	0,24	0,35	12,81	7,53	21,24
máxima	15,00	20,00	30,64	0,59	0,75	0,58	55	28,94	86,10
mínima	1,50	2,00	0,00	0,00	0,00	0,04	18,73	1,10	9,40
nº	14	14	16	16	16	15	16	15	15
baja (< 20 %)									
media	3,58	4,21	18,60	0,30	0,41	0,26	32,76	3,92	38,52
std	1,93	2,04	13,48	0,16	0,18	0,21	10,77	1,80	29,63
máxima	7,50	8,00	35,52	0,65	0,78	0,61	44,73	8,26	14,54
mínima	1,07	1,31	5,04	0,09	0,17	0,06	10,69	1,44	9,39
nº	11	10	11	11	11	11	11	11	11

Tabla 4.5. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos secos. Zonas de Petrer y Monnegre (margas del Senoniense), suelos con distintos niveles de vegetación: > 80 %, 40-70 % y < 20 % sobre derrubios arenosos del glacis

4.1.1.2. Suelos con distintas cubiertas vegetales

Dentro de las cuencas estudiadas sobre margas, a pesar de la existencia de procesos de erosión de gran magnitud, no todas las superficies corresponden a suelos degradados. También encontramos suelos muy vegetados (> 80 %) en los espacios más húmedos: superficies cóncavas y laderas norte, así como superficies con una cubierta intermedia de vegetación (40-70 %).

También hemos distinguido, como unidad particular los suelos de las laderas sur sobre derrubios de glacis de Petrer. Esto se debe a que en estas cuencas de exposición contrastada, la ladera sur sobre margas da lugar a fuertes acarcamientos (*badlands*), siendo únicamente cuando esta litología aparece

cubierta de arenas cuando existe cierto desarrollo edáfico y vegetal (< 20 % de cubierta de plantas). Como ocurre con los enlosados, estas laderas pueden ser el estadio preliminar al desarrollo de los abarrancamientos, de ahí que sea de gran interés tanto su comportamiento hidrológico como erosivo.

Los suelos muy vegetados (> 80 %) (ver tabla 4.5, y fotografías 3.27 y 3.29), tienen valores de t_p , t_e y t_o muy elevados en comparación con los suelos desprovistos de vegetación, además de que los índices de escorrentía, nos indican una considerable aptitud de estas superficies para la transmisión en profundidad de la precipitación (C_e , 0,11), siendo los valores de f_c muy altos (46,6 mm h⁻¹ de media) con un importante número de experimentos sin escorrentía (5 de 31). El rasgo hidrológico típico de estos suelos son curvas de escorrentía con inicio retrasado (minuto 11), con pendientes muy bajas, y estabilizaciones de la infiltración en valores muy altos (46 mm h⁻¹) después de casi 40 minutos.

En los suelos con niveles de vegetación intermedios (40-70 %), nos encontramos con valores de f_c algo inferiores: 38,54 mm h⁻¹, un 83 % menor que en los suelos completamente vegetados, mientras que la E_{sm} , C_{e25} y C_e se duplican, pasando en el último caso de 0,11 a 0,23. En estos suelos con cubiertas vegetales intermedias, sólo 1 de las 16 pruebas no produjo escorrentía, lo que ratifica las anteriores diferencias, respecto a los suelos muy vegetados.

En estos suelos con cubiertas intermedias de vegetación la hidrología superficial se caracteriza por caudales ligeramente más incipientes y pronunciados, con t_p y t_e un minuto, y t_o más de dos minutos, adelantados respecto a en los suelos con cubiertas de vegetación superiores al 80 % de la superficie. También f_c es anterior (9 min), y α es 0,08 min⁻¹ mayor que en las curvas de escorrentía procedentes de suelos muy vegetados.

En las laderas sur vegetadas (< 20 %) (ver fotografía 3.28) las tasas de infiltración final estable son algo inferiores: 32,76 mm h⁻¹, no existiendo ningún caso en el que la infiltración sea igual a la precipitación. Respecto al grupo de suelos con cubiertas vegetales intermedias, el valor de f_c se ha reducido un 85 % y los índices de escorrentía (E_{sm} , C_e y C_{e25}) tienen un comportamiento semejante, siendo un 70 % mayores en los suelos con una cubierta intermedia de vegetación.

Por otra parte, las curvas de escorrentía presentan formas muy distintas de los dos tipos de suelos vistos anteriormente (ver tabla 4.5 y figura 4.3. y 4.5). En estos suelos, respondiendo a su baja cubierta vegetal e inexistencia de mantillo, t_p y t_e se producen con gran rapidez, siendo t_o inferior entre 3 y 2 veces respectivamente a los suelos vistos anteriormente. Pero, al contrario de lo que sería de esperar, f_c es semejante a los suelos muy vegetados y α es incluso inferior a éstos. Esto supone

curvas muy planas respecto a las encontradas en suelos de la misma cuenca de drenaje, aunque puntualmente el encostramiento superficial y las altas temperaturas veraniegas puedan dar lugar a una fuerte repelencia de los suelos, y con ello a curvas hidrofóbicas, en las que el ajuste de la ecuación de Horton no es del todo fiable (ver figura 4.6).

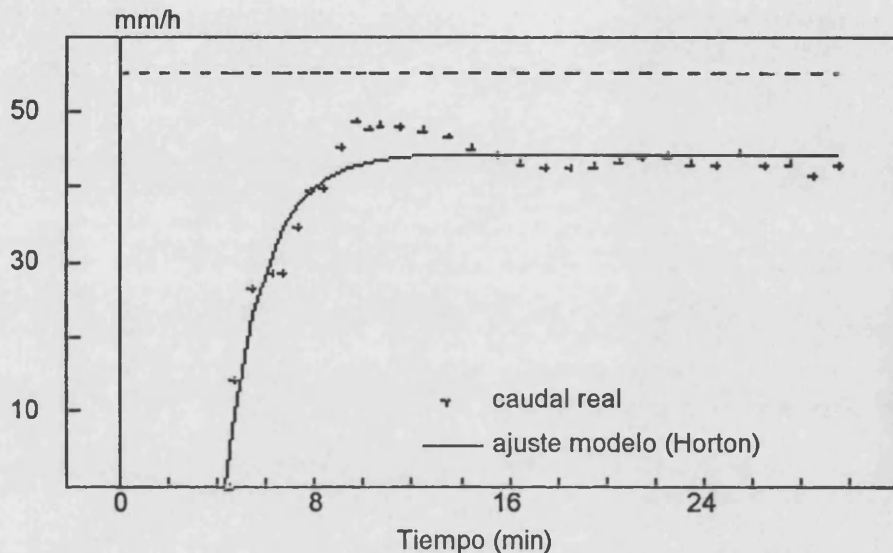


Figura 4.6. Curva de escorrentía hidrofoba de la ladera sur sobre derrubios arenosos de Petrer. El modelo de Horton, como cualquier otro de los presentados en el capítulo 2 no reproduce con precisión la forma de la curva, aunque si el parámetro f_c .

Los gráficos de las figura 4.3 y 4.5 resumen todas las curvas de escorrentía medidas en Petrer y Monnegre en verano. Los hidrogramas correspondientes a estos tres últimos grupos de suelos, suelos vegetados, serían los caracterizados por inicios más retrasados, mayores tasas finales de infiltración y curvas más planas. En el caso de Monnegre, la menor diversidad de suelos (sin *pediments* ni campos de cultivo) hace que se diferencien claramente dos grupos de curvas: las que dan lugar a tasas finales de escorrentía mayores de $25-30 \text{ mm h}^{-1}$ y los menores de 10 mm h^{-1} , sólo cinco curvas quedarían en una situación intermedia.

4.2.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

Las características de la infiltración al ser medida con encharcamiento (infiltrómetro de cilindro) se modifican tanto por la alteración del suelo, como por la forma en la que se produce el proceso (ver capítulo 2). A pesar de ello, a grandes rasgos, la gradación de los valores de f_c para los distintos grupos o unidades de

suelos se repite respecto a la explicada anteriormente para las mediciones realizadas a partir de lluvia simulada. Esto es, los suelos de los *pediments* tienen menores tasas de infiltración final estable que los de las laderas de los abarrancamientos, y éstos, que los suelos pedregosos o enlosados ($47, 95, \text{ y } 137 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente). En el caso de los suelos con distintas cubiertas vegetales, la gradación es distinta, tanto en variabilidad espacial como en magnitud: $361, 222 \text{ y } 228 \text{ mm h}^{-1}$, de mayor a menor cubierta vegetal. El que los suelos con cubierta vegetal inferior al 20 % tengan un valor de f_c mayor al de las superficie con cubiertas intermedias de vegetación se debe a que la litología no son realmente margas, sino que sobre éstas, están los derrubios arenosos, lo cual nos ilustra sobre la importancia de la textura sobre la infiltración (ROMERO DIAZ, 1986).

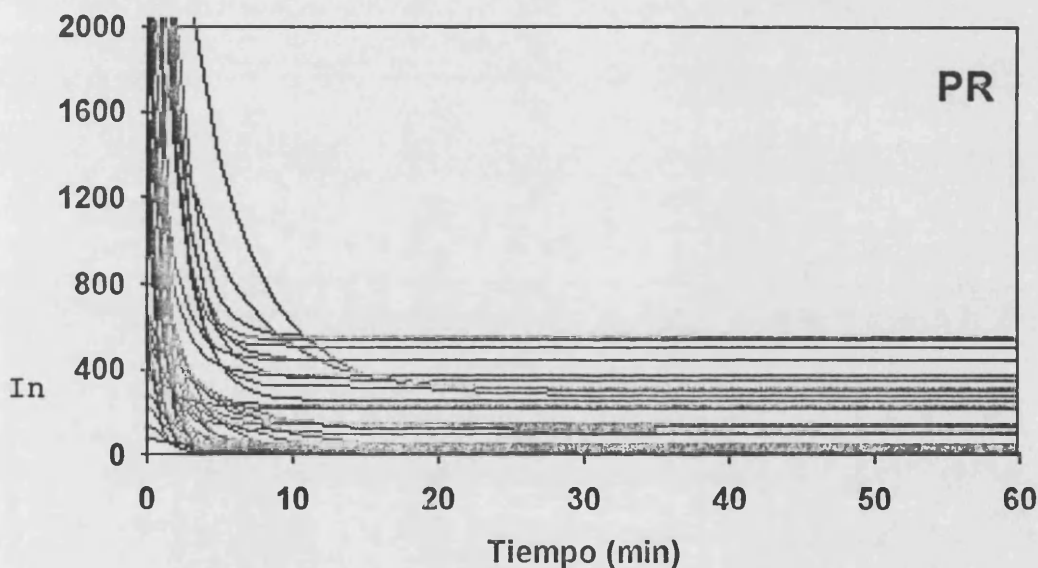


Figura 4.7. Curvas de infiltración obtenidas con infiltrómetro de cilindro sobre suelos secos. Margas del Senoniense, Petrer

Respecto a la forma de las curvas de infiltración (ver figuras 4.7 y 4.8) se confirma la mayor diversidad de Petrer, debido a que, como hemos dicho anteriormente la variedad de suelos también lo es. En ambas zonas de estudio, tanto en Petrer como en Monnegre, los valores de f_c se concentran en un rango menor a 200 mm h^{-1} , lo cual es explicable por la impermeabilidad de la litología. Aunque pocos, también existen suelos con valores de f_c alto, incluso superiores a 400 mm h^{-1} , siendo en todos los casos fruto, bien de suelos muy desarrollados (alto contenido en materia orgánica y buena agregación), bien de la existencia de tubificaciones o grietas superficiales que comunican con la red de fracturas internas de la roca madre, y que puede mantener altas tasas de infiltración estable. Este último caso es

relativamente frecuente en los *badland*, donde se produce la máxima tasa de infiltración final estable (866 mm h^{-1}) de todos los experimentos de Petrer y Monnegre. En ocasiones, la tasa de infiltración ha aumentado con el tiempo debido al crecimiento del radio hidráulico del macroporo, que pone en contacto la superficie con la red de tubificaciones internas de los *badland*, si bien estos experimentos se han eliminado del tratamiento estadístico por que su tasa de infiltración estable no existe o bien tiende a infinito.

	<i>ifo</i> mm h ⁻¹	α min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹		<i>ifo</i> mm h ⁻¹	α min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹
laderas				> 80 %			
media	1165,17	0,61	94,57	media	3823,56	0,76	360,62
std	1523,49	0,47	164,80	std	2447,66	0,36	150,66
máxima	6810,96	2,31	866,40	máxima	8187,34	1,61	605,22
mínima	61,34	0,04	0,00	mínima	542,17	0,07	102,95
nº	35	35	35	nº	15	15	15
pediment				40-70 %			
media	391,50	0,37	46,93	media	1662,43	0,82	221,24
std	245,86	0,15	41,65	std	566,31	0,68	195,00
máxima	645,38	0,56	117,20	máxima	2817,54	3,00	703,90
mínima	70,00	0,22	13,96	mínima	531,67	0,08	16,38
nº	4	4	4	nº	16,00	16	16
enlosado				< 20 %			
media	1777,48	1,12	136,90	media	2142,12	1,07	228,27
std	1248,65	0,90	122,61	std	1647,06	0,88	149,85
máxima	4903,56	3,00	320,39	máxima	5507,38	3,00	404,54
mínima	590,38	0,07	22,81	mínima	309,37	0,14	7,35
nº	8	8	8	nº	8	8	8

Tabla 4.6. Parámetros de la ecuación de Horton obtenidos a partir del ajuste de ésta a datos procedentes de mediciones con infiltrómetro de cilindro. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Suelos sobre margas del Senoniense (Petrer y Monnegre) en seco. Las seis unidades corresponden a suelos sin vegetación (*laderas* y *pediments* de *badland* y *enlosados*) y con cubiertas vegetales diversas (> 80 %, 40-70 %, y < 20 % sobre derrubios arenosos del glacis)

Es de destacar fuerte pendiente de la curvas de infiltración en estos suelos (ver figura 4.7 y 4.8). Pero además, hay una clara relación positiva entre pendiente de la curva y valor de *fc* para los suelos desnudos (*pediments*, *laderas* y *enlosados*) y una relación positiva con el nivel de cubierta vegetal para las superficies con distintas cubiertas vegetales (ver tabla 4.5).

El valor de *fo* varía entre 3923 mm h^{-1} en los suelos muy vegetados, y los 391 mm h^{-1} de los *pediments*, si bien como ocurre en el caso de *fc* el valor mínimo está en la ladera de los abarrancamientos, donde el encostramiento sobre una textura limoarcillosa facilita el que las tasas de infiltración que lleguen a ser de 0 mm h^{-1} .

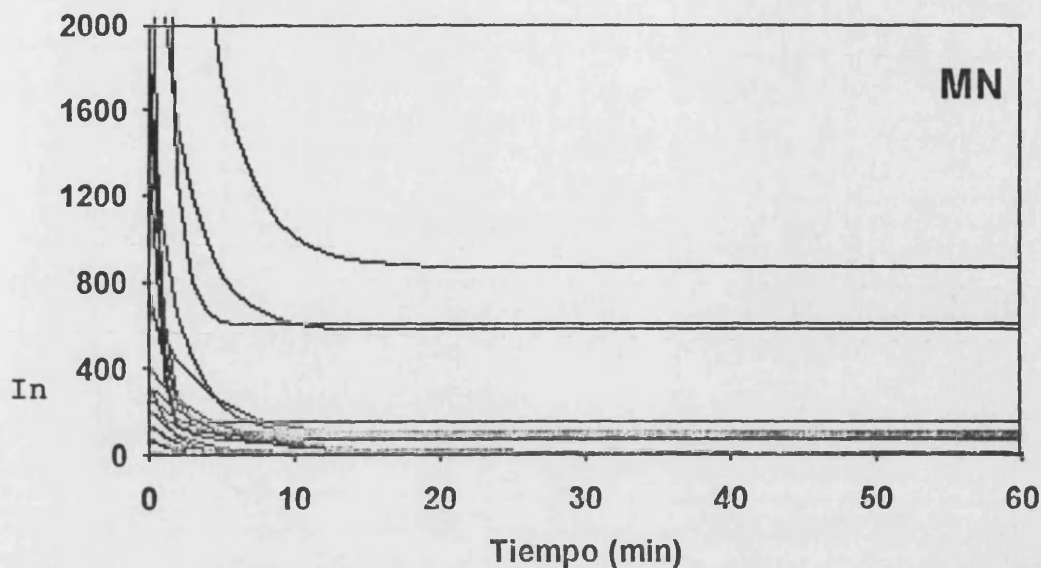


Figura 4.8. Curvas de infiltración obtenidas con infiltrómetro de cilindro sobre suelos secos. Margas del Senoniense, Monnegre.

4.2.3. Erosión del suelo y salinidad de la escorrentía

La respuesta hidrológica de los suelos ante la lluvia no sólo rige la hidrología de las laderas, sino que además determina la morfología de estas últimas, al controlar las tasas de erosión. En los casos de Petrer y Monnegre, los fuertes abarrancamientos son fruto de la degradación del medio en un sentido global, pero son las fuertes pérdidas por arroyada superficial las causantes directas del actual relieve.

De las seis unidades de suelos seleccionados en Petrer y Monnegre, destaca por su fuerte erosionabilidad las laderas de los abarrancamientos. En esto influyen, tanto las bajas capacidades de infiltración, como la elevada concentración de sedimentos de la escorrentía ($53,5 \text{ g l}^{-1}$), los cuales dan como resultado que la tasa de erosión media alcancen los $1574 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, aunque, como indicábamos anteriormente para los aspectos hidrológicos las variaciones espaciales son muy importantes, siendo el rango de variación de la tasa de erosión desde 4233 a $0 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Comparativamente, el resto de superficies tienen pérdidas de suelo mucho más bajas, siendo la gradación entre ellas diferente a la vista anteriormente para los parámetros de infiltración.

La concentración de sedimentos es de $6,6 \text{ g l}^{-1}$ en los suelos sobre derrubios arenosos (20 % de cubierta vegetal), lo que se debe sin duda a la existencia de zonas en los que la rotura de costras superficiales ha facilitado un aumento de los

sedimentos exportados. A este grupo de suelos le sigue los *pediments* con $2,6 \text{ g l}^{-1}$, los cuales a pesar de las baja tasas de infiltración, mantienen, gracias al encostramiento superficial, la nula pendiente y al bajo índice de rugosidad, reducidas pérdidas de suelo, lo que les confirma como superficies de transporte.

Los suelos con cubiertas vegetales intermedias ($1,7 \text{ g l}^{-1}$), los enlosados ($1,7 \text{ g l}^{-1}$) y los muy vegetados ($0,7 \text{ g l}^{-1}$), presentan tasas de concentración de sedimentos insignificantes, debido en unos caso a la protección vegetal y en otros a la de la piedras.

La tasa de erosión, influida claramente por la respuesta hidrológica, presenta una jerarquización clara de las distintas unidades de suelos estudiadas diferente. Así, tenemos que tras las laderas de los abarrancamientos, están los *pediment* ($89,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y la ladera sur sobre derrubios arenosos ($87,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), seguidos por los enlosados ($48,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y las unidades de suelos con cubiertas medias y altas de vegetación ($23,3$ y $6,26 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente).

Las fuertes variaciones espaciales de las tasas de erosión, no sólo existen entre las distintas unidades, sino también dentro de ellas. De hecho, los suelos con mayores cubiertas vegetales y algunas superficies de *badland* muy agrietadas por la extrema sequedad estival no produjeron escorrentía y por lo tanto tampoco erosión, mientras que suelos dentro de estas mismas unidades tuvieron tasas de erosión muy elevadas, incluso con cubiertas altas de vegetación (hasta $64,7 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Los *pediments* vuelven a ser, como en los aspectos hidrológicos, los menos variables espacialmente.

Paradójicamente, en cuanto a la pérdida de suelo, el parámetro que mejor describe la relación entre las seis unidades de suelos seleccionadas es el menos elaborado de ellos: los sedimentos totales (ver tabla 4.7). Según este parámetro, las laderas (175 g) y los *pediments* ($14,2 \text{ g}$) de los *badland* serian los suelos con mayores pérdidas de suelo, si bien los segundos serian una superficie de transporte debido a que todas las sedimentos erosionados en las laderas pasan por ellos. Tanto los suelos vegetados ($0,9 \text{ g}$), los vegetados con densidades medias ($2,7 \text{ g}$) y los enlosados ($4,3 \text{ g}$) tienen pérdidas muy bajas, en cada experimento por término medio. Mención aparte merece la ladera sur sobre derrubios, la cual experimenta un pérdida de suelos intermedia ($8,71 \text{ g}$). Hay que tener en cuenta que unos centímetros por debajo de los derrubios están las margas, que en caso de quedar descubiertas por la erosión darían lugar a una rápida degradación de la ladera y su transformación en abarrancamientos.

La salinidad de la escorrentía, responde a un modelo algo diferente al de la erosión por arrastre superficial. Son los suelos provenientes de la unidad de los

abarrancamientos los que dan lugar a escorrentías con mayor conductividad eléctrica (422 mS), mientras que las escorrentías con menos solutos son la de los *pediments* (116 mS). El resto de unidades están alrededor de los 200 mS, en una clara relación negativa con la cubierta vegetal. Unicamente en la ladera sur, con un 20 % de cubierta vegetal, presenta tasas inferiores (162 mS), lo cual sin duda depende de la litología, ya que los derrubios arenosos provenientes del glacis las sales son menos abundantes.

	<i>sd</i> g ⁻¹	<i>sy</i> g	<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>	<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
Ladera						
media	53,47	175,05	1574,96	0,42	422,27	-11,79
std	24,13	177,46	986,29	1,06	222,50	11,60
máximo	120,03	1117,88	4233,65	3,17	1313,25	3,05
mínimo	0,00	0,00	0,00	-2,64	78,22	-64,37
nº	76	76	76	75	64	64
Pediments						
media	2,58	14,20	89,21	-0,13	116,34	-2,29
std	0,83	4,96	32,29	0,08	27,75	1,83
máximo	3,76	24,42	152,07	-0,03	153,67	-0,61
mínimo	1,27	8,51	48,26	-0,28	87,20	-4,84
nº	8	8	8	8	3	3
Enlosados						
media	1,69	4,31	48,47	-0,07	211,55	-6,99
std	0,91	2,76	33,15	0,11	64,12	5,31
máximo	4,11	9,36	109,33	0,15	383,33	0,53
mínimo	0,42	0,40	1,69	-0,29	136,00	-17,56
nº	14	14	14	14	14	14
Alta (> 80 %)						
media	0,71	0,92	6,26	-0,15	175,91	-3,42
std	1,20	1,57	12,11	0,66	48,87	2,06
máximo	5,10	8,21	64,72	0,09	263,00	0,00
mínimo	0,00	0,00	0,00	-3,49	74,25	-6,49
nº	31	31	31	27	15	15
Media (40-70 %)						
media	1,72	2,67	23,25	-0,05	198,91	-2,08
std	1,08	2,97	25,33	0,09	40,59	2,77
máximo	3,32	9,64	83,77	0,09	275,00	0,50
mínimo	0,00	0,00	0,00	-0,27	135,67	-9,13
nº	16	16	16	15	11	11
Baja (< 20 %)						
media	6,58	8,71	87,16	-0,03	162,58	-4,66
std	9,10	9,36	112,84	0,16	42,65	2,39
máximo	33,70	28,69	407,66	0,22	270,33	-1,66
mínimo	0,18	0,39	4,30	-0,37	103,00	-10,09
nº	11	11	11	11	11	11

Tabla 4.7. Parámetros de la pérdida de suelo en Petrer y Monnegre (margas del Senoniense), en seco. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Todos los pruebas corresponden a experimentos estándar (55 mm h⁻¹), durante un periodo entre 30 y 60 minutos.

Respecto a las **tendencias temporales**, es bastante evidente que la reducción de la capacidad de infiltración con el tiempo debe favorecer un aumento de la pérdida de suelo, pero esto es muy matizable porque el agotamiento del material erosionable y las sales hacen que la concentración de sedimentos de la escorrentía y su salinidad se reduzca en casi todos los casos (ver tabla 4.6).

La tendencia temporal de la **salinidad** es claramente negativa en todas las unidades estudiadas en término medio, aunque existan algunos experimentos en los que es positiva. El decrecimiento es mayor cuanto mayor es el valor absoluto.

La tendencia temporal de la **concentración de sedimentos** también es negativa, aunque la magnitud de ésta es 100 veces menor a la de la salinidad. Los suelos de los abarrancamientos presentan un comportamiento excepcional, ya que la tendencia temporal es positiva (0,42), siendo por ello muy diferente a los *pediments* con los que forman todo un sistema morfológico de gran interés.

Al contrario que las laderas de los *badland*, los *pediments* se caracterizan por comportamientos hidrológicos y erosivos con variaciones espaciales poco importantes, siendo en todos los experimentos la tendencia temporal de la concentración de sedimentos y la salinidad negativa.

* * *

La hidrología de los suelos abarrancados sobre margas del Senoniense en los ambientes más áridos del País Valenciano se caracteriza por la abundancia de superficies desnudas, con fuerte encostramiento superficial y muy bajas tasas de infiltración. Lo anterior está relacionado con morfologías superficiales muy espaciales (CALVO et al., 1991), las cuales controlan los procesos hidrológicos (FINLAYSON et al., 1987; PAYÀ y CERDÀ, 1992), en una clara interrelación con las propiedades de la regolita (GERITS et al., 1987), y ciertos umbrales químicos (GERITS et al., 1986).

Sólo puntualmente, estos suelos dan lugar a elevadas tasas de infiltración o nula escorrentía, lo que siempre es debido a los fuertes agrietamientos superficiales fruto de la sequedad estival.

Las laderas de estos abarrancamientos o *badland* se caracterizan además por tener elevadas tasas de erosión (CAMPBELL, 1982), en las que junto a la baja aptitud para la infiltración y las elevadas concentraciones de sedimentos hay una tendencia temporal al aumento de la pérdida de suelo, agravada por el crecimiento con el tiempo de la concentración de sedimentos. Posiblemente, ésto es debido a que

el proceso de erosión está controlado por la dispersión de las arcillas (GERITS, 1992).

Los *pediments* de los *badland*, al contrario que las laderas son menos erosionables, aunque la capacidad de infiltración sea menor (3 mm h^{-1} , en término medio). Se confirmarían, por lo tanto, como superficie de transporte (CAMPBELL, 1982), ya que recibe la escorrentía de las laderas de los *badlandas* con una mayor concentración de sedimentos, en concreto, veinte veces mayor a la producida por los *pediment*.

Los suelos pedregosos o enlosados, tienen baja tasas de infiltración, pero comparado con los suelos de los *badland* habría que pensar en un efecto positivo de las piedras, debido a que si bien el grado de degradación es semejante a las unidades denominadas *pediments* y laderas de *badland*, la infiltrabilidad es mayor. La reducción de la erodibilidad de los suelos con el empedregamiento es un hecho, ya que la concentración de los sedimentos es en términos medios 32 veces menor que en las laderas de los *badland*.

A pesar de la baja cobertura vegetal en estos suelos acaravados, hay superficies donde la cubierta vegetal es lo suficientemente importante como para producir escorrentías insignificantes o nulas. Los distintos niveles de cubierta vegetal (> 80 % y 70-40 %) estudiados, confirman la importancia de la vegetación en el control de la infiltración del agua y en la reducción de la erosión (THORNES, 1985). A pesar de ello, comparado con otras zonas de estudio y con niveles de protección vegetal semejante las tasas de infiltración en los suelos sobre margas siempre son menores.

Las laderas sur de Petrer sobre derrubios arenosos (cubierta menor al 20 %), aunque con mayores aptitudes para la infiltración, debido esencialmente a su textura, posiblemente desarrollen con el tiempo acaravamientos, ya que la destrucción de la costra superficial, tanto por procesos naturales como antrópicos, favorece la pérdida de suelo. Además, cuando la costra no está alterada estos suelos tienen elevadas tasas de escorrentía, debido a la hidrofobia producida por el encostramiento, especialmente en verano.

En las zonas sobre margas del Senoniense, Petrer y Monnegre, nos encontramos con elevadas tasas de erosión, determinadas esencialmente por las bajas capacidades de infiltración y la elevada erosionabilidad de los suelos, características típicas de las áreas de *badlands* destacadas por varios autores (CAMPBELL, 1974; CLOTET *et al.*, 1987; ARNAEZ-VADILLO, 1988). En estas cuencas la generación de escorrentía puede seguir, al contrario que en Puçol, el modelo Hortoniano de producción de escorrentía, aunque en el caso de los suelos

vegetados, las pérdidas por transmisión de los reducidos volúmenes de escorrentía, lo hacen inviable.

Incluso en las laderas de *badlands*, el fuerte agrietamiento hace pensar que el modelo Hortoniano debe ser matizado debido al retraso con que en algunos casos se produce la escorrentía, como ya han hecho otros autores (BERGSMA, 1983).

4.3. Distintos ambientes sobre arcillas del Keuper. Anna, Requena, Torís y Monnegre

Como en otras litologías, las variaciones espaciales de la infiltración en las laderas sobre arcillas del Keuper son muy altas, aunque en este caso existe un rasgo que la define claramente: la más baja tasa de infiltración final estable medida a partir de experimentos con lluvia simulada ha sido de 7 mm h^{-1} , cuando en otros áreas de estudio como Petrer o Monnegre era de 0 mm h^{-1} . Por lo que respecta a la máxima tasa de infiltración final, es de 55 mm h^{-1} , el 100 % de la precipitación.

4.3.1 Hidrología de los suelos en una típica cuenca sobre arcillas del Keuper. Anna

En el caso de la cuenca de drenaje estudiada en Anna se presentan los resultados agrupados en dos grandes unidades, ladera norte y ladera sur (fotografía 3.3), aunque dentro de ellas nos encontramos con dos subzonas muy distintas: la zona vegetada de la parte media y alta, y la zona erosionada de la parte baja como consecuencia de la erosión remontante desde el cauce (ver fotografía 3.2 y 3.3). Estos condicionantes comportarán suelos muy distintos, y como veremos respuestas hidrológicas muy dispares.

Uno de los parámetros estadístico más simples, pero a la vez más significativos en el caso de la hidrología de los suelos y las laderas de Anna, es el número de *experimentos con lluvia simulada sin escorrentía* o experimentos en los que la infiltración es del 100 % de la precipitación. En esta cuenca, se realizaron 55 experimentos en el verano de 1991, de los cuales 17 no produjeron escorrentía. Concretamente, de estos 17 experimentos, 12 (de 16 experimentos) se localizaron en la parte alta y 3 (de 11) en la parte baja de la ladera norte, mientras que en la ladera sur todas las superficies sin escorrentía detectadas aparecen en la parte alta, tan sólo 2 (de 11 experimentos). El diferente comportamiento de los suelos según la ladera y la parte de esta que ocupen ante la lluvia simulada es evidente, como también lo es la existencias de fuertes variaciones espaciales dentro de cada uno de los grupos o unidades de suelo estudiadas (ver tabla 4.8).

4.3.1.1. Experimentos con lluvia simulada

En la parte alta de la ladera norte, la importante cubierta de herbáceas (fotografía 3.39) favorece una extremadamente alta tasa de infiltración final estable ($f_c = 54,82 \text{ mm h}^{-1}$). Pero además, en los experimentos con escorrentía (sólo dos), ésta se produce tras un t_p (9,67 min) y t_e (9 min) retardados, siendo t_o muy alto (min 23,3). Estos valores, son poco significativos debido a que el 75 % de las parcelas no producen escorrentía, ya que en algunas, a pesar de detectar un encharcamiento tardío no hay muestras de movimiento de éste, lo que explica un valor medio mas alto de t_p que t_e (ver tabla 4.8). El resto de parámetros hidrológicos son elocuentes de la alta infiltrabilidad de la parte alta de la ladera norte, ya que tras 16 experimentos de una hora de duración E_{sm} no pasa de $0,5 \text{ mm h}^{-1}$ y C_e y C_{e25} son insignificantes (ver tabla 4.8).

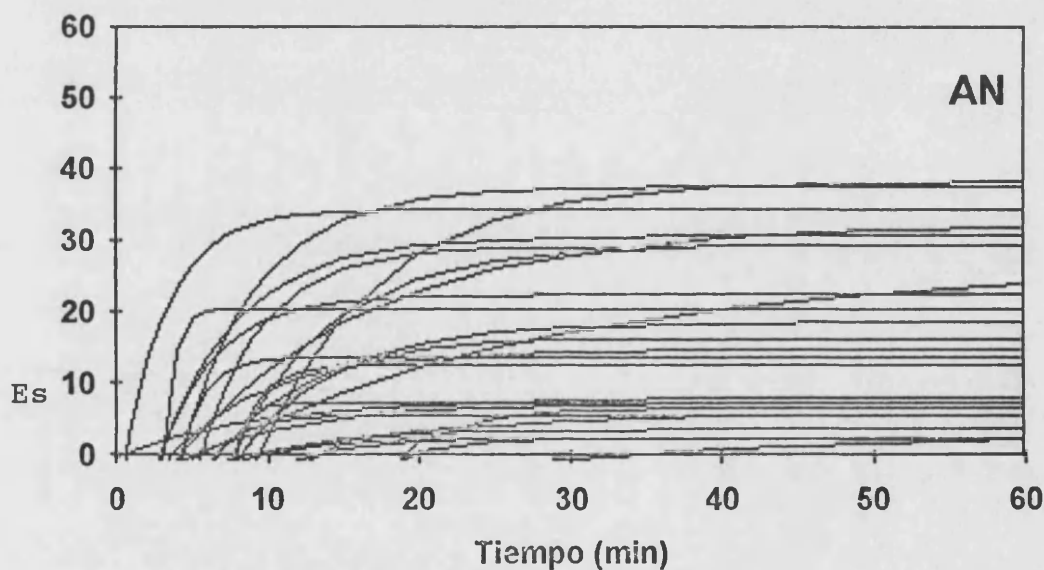


Figura 4.9. Curvas de escorrentía de los suelos sobre arcillas del Keuper en Anna. Hidrogramas obtenidos a partir de lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos

Los parámetros que describen la forma de la curva de infiltración muestran unas curvas ligeramente empinadas (parámetro α), con t_o retrasado (23,3 min) y t_c adelantado (30,7 min.). Esto significa que en 7 min se inicia la escorrentía y se estabiliza, en valores siempre superiores para f_c a 50 mm h^{-1} , lo que nos muestra escorrentías insignificantes. Según la figura 4.9, los hidrogramas de los suelos de la parte alta de la ladera norte pertenecerían al grupo de curvas con escorrentías estables inferiores a 5 mm h^{-1} .

La parte alta de la ladera sur (vegetada), se comporta en algunos aspectos de una forma similar a la parte alta de la ladera norte, ya que nos encontramos con un uso del suelo similar en los últimos 20 años: repoblación forestal de *Pinus halepensis*. Esto explica los altos niveles de cubierta de hojarasca (fotografía 3.41), pero al contrario que en la ladera norte las herbáceas son poco importantes aquí, sin duda debido a la exposición sur, lo que explica que el volumen de precipitación infiltrada sea menor que en los suelos de la ladera norte.

		LADERA NORTE			LADERA SUR				
	<i>tp</i> min	<i>te</i> min	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	<i>a</i>	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>to</i> min	<i>tc</i> min
PARTE ALTA									
media	9,67	9,00	0,48	0,00	0,01	0,74	54,82	23,30	30,70
std	3,86	2,00	1,40	0,01	0,02	0,65	0,47	13,49	19,97
máxima	15,00	11,00	5,76	0,05	0,06	1,81	55,00	40,99	57,11
mínima	6,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,04	53,52	7,92	8,95
cuenta	3	2	16	16	16	4	16	4	4
PARTE BAJA									
media	5,16	7,30	7,66	0,14	0,28	0,19	35,86	8,49	32,02
std	2,01	3,24	6,72	0,12	0,21	0,24	15,46	2,52	16,62
máxima	8,00	11,00	24,64	0,45	0,65	0,80	55,00	12,50	56,56
mínima	1,30	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,39	4,99	12,39
cuenta	11	10	11	11	11	8	11	8	8
PARTE ALTA									
media	4,66	5,79	4,10	0,08	0,15	0,67	47,45	9,24	23,73
std	2,67	2,68	3,18	0,06	0,11	0,72	5,79	2,49	10,75
máxima	12,00	12,20	9,70	0,18	0,37	1,52	55,00	14,44	50,28
mínima	1,40	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	36,79	6,49	7,98
cuenta	13	10	13	13	13	10	13	11	11
PARTE BAJA									
media	3,71	5,27	8,84	0,16	0,33	0,10	35,14	8,19	55,22
std	1,61	1,73	4,51	0,08	0,15	0,07	7,16	3,39	43,34
máxima	8,00	9,02	15,60	0,28	0,52	0,25	52,71	15,76	190,16
mínima	2,00	3,00	0,62	0,01	0,03	0,00	24,74	3,55	20,45
cuenta	13	13	14	14	14	14	14	14	14

Tabla 4.8. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos secos en las laderas sobre arcillas del Keuper en Anna

En esta parte alta de la ladera sur, el valor de *fc* medio es de 47,45 mm h⁻¹. Esta alta tasas de infiltración se ve reflejada en unas bajas tasa de escorrentía, variando los parámetros hidrológicos más importantes alrededor de valores reducidos: *Ce* (0- 0,18), *Ce25* (0-0,37) y *Esm* (0-9,7 mm h⁻¹). Estos bajos valores de

C_e van paradójicamente acompañados de valores de α muy altos, si bien esta alta media está determinada por un sólo experimento (AN26: $\alpha = 1,52$), el cual es fruto de una curva hidrófoba, consecuencia de la materia orgánica de la superficie del suelo, aportada por la hojarasca de *Pinus halepensis*. Si obviamos este experimento la media se reduce muchísimo (media = 0,18 y std = 0,08).

Tanto f_c como t_o se producen mucho más rápido en esta ladera sur vegetada que en la norte, sin duda reflejo de suelos menos desarrollados y cubiertas vegetales menos densas. En general, los valores de f_c son superiores a 40 mm h^{-1} , lo que hace que todas las curvas de escorrentía según la figura 4.9 estén agrupadas por debajo de 10 mm h^{-1} o entre 10 y 20 mm h^{-1} de escorrentía final.

En cuanto a las partes bajas de las laderas, dominadas por la erosión remontante, nos encontramos ante suelos con bajas cubiertas vegetales y síntomas de degradación (encostramientos, reducida agregación, etc.), lo que dará lugar a hidrogramas más incipientes y tasas de infiltración menores.

En la parte baja de la ladera norte, la erosión de los suelos se produce por remonte de cabeceras de cárcavas, por lo que entre éstas, aún existen retazos de superficies con suelos no degradados (fotografía 3.38). Este modelo erosivo hace que las variaciones espaciales sean muy altas, y con ello que algunos parámetros hidrológicos sean similares a los suelos de la parte alta de esta ladera (superficies sin escorrentía) y otros similares a la parte baja de la ladera sur, en los que t_p y t_o se produce rápidamente, 1,3 y 3,00 min. En casos extremos, el encharcamiento se retrasa muchísimo, y explica que t_e se produzca en algunas ocasiones en el minuto 25, correspondiendo estos casos a suelos muy agrietados. A esta escorrentía retrasada le corresponden E_{sm} muy bajas ($24,64 \text{ mm h}^{-1}$ es la más alta), así como C_e entre 0 y 0,45, y C_{e25} entre 0 y 0,5.

La formas de los hidrogramas son, por las razones antes explicadas, totalmente distintas entre ellas, existiendo curvas con fuertes pendientes ($\alpha = 0,8 \text{ min}^{-1}$) y muy baja capacidad de infiltración final, y otras con características similares a las descritas para la parte alta de esta misma ladera ($\alpha = 0,001 \text{ min}^{-1}$).

En los suelos de la parte baja de la ladera sur, el comportamiento medio es semejante al de la parte baja de la ladera norte (ver tabla 4.8), pero las variaciones no son tan importantes debido a que las morfologías son más homogéneas. Al contrario que en la parte baja de la ladera norte, donde nos encontramos con tres tipos de superficies: erosionadas, estables entre cárcavas, y con cubierta de líquenes, los cuales favorecen variaciones muy fuertes de f_c : de 55 a $17,73 \text{ mm h}^{-1}$, en la parte baja de la ladera sur la erosión remontante se produce a partir de un frente de erosión, por lo que no quedan superficies no erosionadas (fotografía 3.40) y

la variabilidad espacial es menor. También, las mayores tasas de erosión impiden el asentamiento de líquenes, los cuales se ven favorecidos en la ladera norte por la mayor humedad, con lo que el valor mínimo de f_c no está en esta unidad de suelos, sino en la parte baja de la ladera norte, como también sucede en ambientes más áridos (ALEXANDER y CALVO, 1990). En conclusión, los valores medios de la parte baja de la ladera norte y la sur, no ofrecen diferencias significativas (tabla 9.1), pero el que en la ladera norte se mantengan suelos capaces de absorber toda la precipitación habla por si mismo de la estabilidad de esta ladera en las zonas no acarcavadas, así como de su elevada variabilidad.

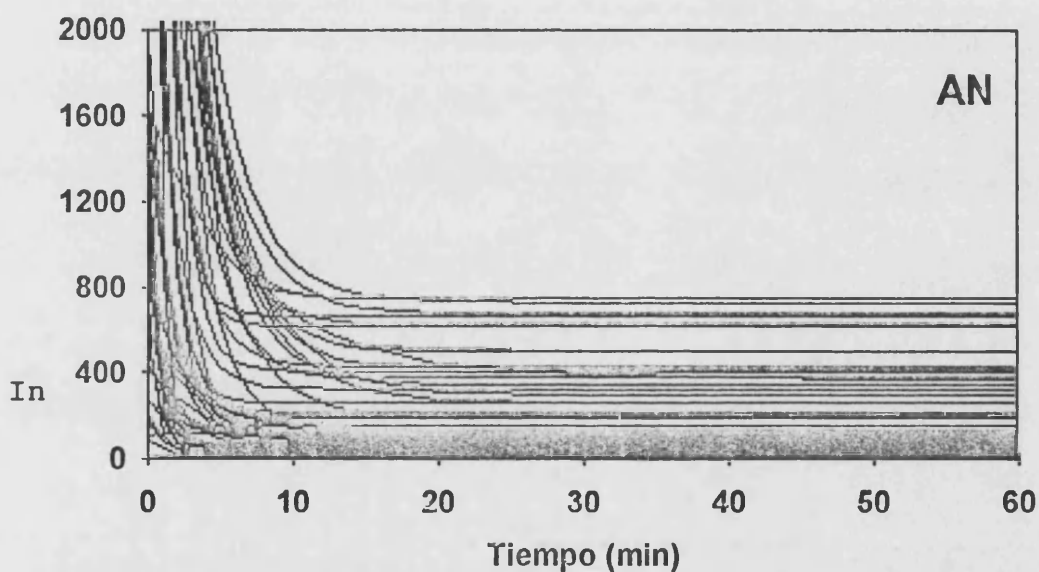


Figura 4.10. Curvas de infiltración obtenidas a partir de infiltrómetro de cilindro. Suelos sobre arcillas del Keuper (Anna) en seco (verano)

En general, aunque las partes bajas estén sufriendo un proceso de desmantelamiento originado en la fuerte incisión basal, y sus suelos tengan una muy baja cobertura vegetal, los valores de f_c y $Vi60$, demuestran que las arcillas del Keuper presentan valores de infiltrabilidad mayores a otras litologías. Ésto es debido a las grietas, la alta porosidad de las arcillas, la rugosidad superficial, así como a la existencia de costras menos densas que en otras litologías como las margas senonienses.

Los datos aportados en tabla 4.8 nos muestra cómo en valores medios, para la estación seca, cada ladera tiene un comportamiento característico, diferenciándose claramente entre las partes bajas degradadas y las altas vegetadas, y también dentro de éstas entre la ladera sur con menor capacidad de infiltración y la ladera norte con suelos que pueden absorber prácticamente el 100 % de la precipitación. Pero

además, es de destacar que la variabilidad espacial dentro de cada zona es muy alta, para cualquiera de los parámetros hidrológicos utilizados en la presente investigación.

4.3.1.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

Los experimentos realizados con encharcamiento, han ratificado los conocimientos sobre la hidrología de los suelos obtenida a partir de las pruebas con lluvia simulada. Los suelos de las partes altas de ambas laderas tienen valores de *ifc* superiores al resto de suelos, si bien es realmente la ladera norte la que tiene tasas muy altas de infiltración (475 mm h^{-1}) (ver tabla 4.10).

Los valores de *ifo* están incluso más de acuerdo con los resultados de los experimentos con lluvia simulada, que los de *ifc*, ya que marcan una clara gradación entre laderas norte y sur, y dentro de éstas entre las partes altas y bajas (ver tabla 4.10). Algo semejante ocurre con el valor de *iα*, ya que éste, es mayor cuanto mayor es *ifo*, y por lo tanto, ésta en relación directa con el nivel de degradación del suelo.

Las variaciones espaciales, tanto entre laderas, como dentro de cada una de ellas, son muy altas, siendo mayor en los suelos degradados, en los cuales la desviación estándar tiene un valor absoluto superior a la media de las distintas pruebas.

	LADERA NORTE			LADERA SUR		
	<i>ifo</i> mm h ⁻¹	<i>iα</i> min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹	<i>ifo</i> mm h ⁻¹	<i>iα</i> min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹
PARTE ALTA						
media	8190,03	0,48	475,36	2514,66	0,70	148,51
std	2415,79	0,17	187,96	1613,09	0,33	91,01
máxima	13742,74	0,91	744,28	5429,87	1,44	370,79
mínima	5714,78	0,29	128,32	559,90	0,14	32,40
nº	11	11	11	13	13	13
PARTE BAJA						
media	2377,37	1,24	96,51	1842,63	1,12	119,60
std	4154,20	0,73	98,84	2750,04	0,99	106,46
máxima	15556,11	3,00	324,06	11569,35	3,00	427,54
mínima	78,20	0,27	7,28	111,15	0,03	22,60
nº	12	12	12	16	16	16

Tabla 4.9. Parámetros de la ecuación de Horton obtenidos a partir del ajuste a mediciones con infiltrómetro de cilindro. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Suelos sobre arcillas del Keuper (Anna) en seco (verano)

4.3.1.3. Pérdida de suelo

El comportamiento ante la lluvia simulada de las distintas partes de la cuenca de drenaje estudiada en Anna se caracterizó en un sentido hidrológico por el control que ejerce la exposición y la posición geomorfológica. La respuesta erosiva sigue estas pautas y ha sido si cabe más contrastada.

La concentración de sedimentos presenta a la ladera norte (0,08 y 0,99 g l⁻¹) como mucho más estable que la sur (1,92 y 7,26 g l⁻¹), siendo en ambos casos los suelos de las partes bajas de ambas laderas los más degradables. Erosivamente, la parte baja de la ladera norte es más estable que la parte alta de la ladera sur, mientras que hidrológicamente era al contrario. Esto se debe a que, en el primer caso, existen suelos con encostramientos superficiales, líquenes, y pedregosidad incrustada, que si bien favorecen pérdidas importantes de agua, protegen el suelo del impacto de la gota y con ello de la erosión por medio de la arroyada.

Tanto los sedimentos totales (s_y) como la tasa de erosión, muestran a la parte alta de la ladera norte como una unidad extremadamente estable (0,28 g m⁻² h⁻¹), mientras que la parte baja de la ladera sur, con morfologías típicas de *badland* sobre arcillas del Keuper, son las superficies con mayores tasas de exportación de sedimentos (73,96 g m⁻² h⁻¹). En una situación intermedia están la parte alta de la ladera sur y la baja de la ladera norte (14, 13 y 14,79 g m⁻² h⁻¹ respectivamente), lo que, en el primer caso, se debe a su exposición, y en el segundo, a los acaravamientos. Esta es la razón de que en este último caso la variabilidad espacial sea muy alta, existiendo superficies sin erosión (restos de ladera estable), y otras con tasas de erosión similares o superiores (104,78 g m⁻² h⁻¹) a la de los suelos de la parte baja de la ladera sur.

La tendencia temporal de la concentración de sedimentos en términos medios es negativa, variando de -0,22 a +0,11 en experimentos concretos y entre -0,03 y -0,07 en valores medios de cada unidad de suelos.

Respecto a la Salinidad de la escorrentía en la ladera norte se hicieron muy pocas mediciones, debido esencialmente a que un reducido número de experimentos tenían escorrentía. A pesar de ello, se comprueba una muy baja salinidad en la escorrentía de la parte alta de la ladera (174 mS), siendo tres veces superior en la parte baja (498 mS).

En la ladera sur, paradójicamente, el modelo es muy diferente, mientras en los suelos degradados de la parte baja la salinidad es de 210 mS de media, en la parte alta es de 985 mS, si bien el primer grupo de suelos se caracteriza por una mayor variabilidad espacial y por tener el valor máximo (1580 mS). Posiblemente esta mayor

salinidad de la escorrentía de suelos vegetados de la ladera sur se deba a que la menor infiltrabilidad de los suelos degradados de la ladera sur facilita el lavado de las sales periódicamente, mientras que en los suelos de la parte alta, durante nuestros experimentos se produjo el arrastre de sales acumuladas durante un periodo de tiempo mucho más importante, ya que el umbral de generación de escorrentía es menor.

		LADERA NORTE				
	<i>sd</i> g l ⁻¹	<i>sy</i> g	<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>	<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
PARTE ALTA						
media	0,08	0,03	0,28	-0,06	174,50	-0,92
std	0,20	0,11	0,92	0,06	0,00	
máxima	0,66	0,47	3,78	0,00	174,50	-0,92
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,11	174,50	-0,92
nº	16	16	16	2	1	1
PARTE BAJA						
media	0,99	1,68	14,79	-0,07	498,63	-4,72
std	1,14	3,46	28,85	0,05	273,38	2,47
máxima	4,25	12,50	104,78	0,00	772,00	-2,25
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,16	225,25	-7,19
nº	11	11	11	8	2	2
		LADERA SUR				
	<i>sd</i> g l ⁻¹	<i>sy</i> g	<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>	<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
PARTE ALTA						
media	1,92	1,65	14,13	-0,03	984,88	-45,97
std	0,88	1,22	10,58	0,08	271,36	79,15
máxima	3,85	4,40	38,78	0,11	1323,87	16,27
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,22	273,33	-208,9
nº	12	12	12	11	10	10
PARTE BAJA						
media	7,26	8,42	73,96	-0,06	211,70	0,89
std	3,60	5,66	44,53	0,05	405,29	9,17
máxima	14,24	16,84	147,92	0,02	1580,60	8,25
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,16	285,26	-26,50
nº	15	15	15	14	12	12

Tabla 4.10. Pérdida de suelo en las laderas sobre arcillas del Keuper en Anna. Concentración de sedimentos (*sd*), sedimentos de campo (*sy*), tasa de erosión (*er*), tendencia de la concentración de sedimentos (*tcs*), conductividad eléctrica de la escorrentía (*Sa*) y tendencia de la conductividad eléctrica (*ts*). Todos los parámetros provienen de experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos secos

Esta hipótesis se ratifica al comprobar que todas las unidades de suelo tienen una **tendencia temporal de la salinidad negativa**, especialmente los de la parte alta de la ladera sur, mientras que en la parte baja la tendencia es positiva (ver tabla 4.10), es decir la disolución aumentaba continuamente, al contrario que en los otros suelos donde el lavado producía un agotamiento de las sales acumuladas en superficie.

4.3.2. Otros suelos sobre arcillas del Keuper

Aunque la cuenca de drenaje estudiada en Anna abarca gran variedad de suelos, se ha creído conveniente ampliar el número de zonas para confirmar el comportamiento hidrológico-erosivo visto anteriormente. Para ello, se ha elegido en la cuenca de Torís una ladera norte muy vegetada, sin abarrancamientos en la base, así como superficies degradadas en la ladera sur con morfologías típicas de *badland*. En Monnegre se ha repetido el mismo esquema: suelos de laderas acaravadas y suelos vegetados, si bien la aridez de esta zona hace que la vegetación en lugar de estar dominada por herbáceas lo esté por matorrales poco densos (30 % de cubierta vegetal), especialmente por *Anthyllis Cystisoides*. En el caso de Requena se han estudiado solamente suelos desnudos y muy degradados.

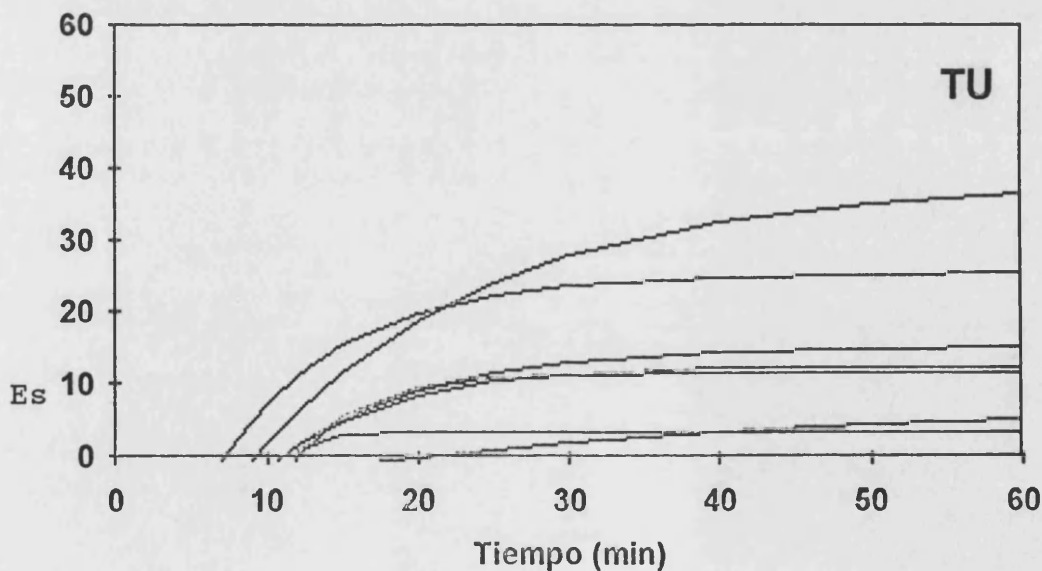


Figura 4.11. Curvas de escorrentía obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) en suelos secos (verano) sobre arcillas del Keuper en Torís

TORIS									
	tp min	te min	Esm mm h ⁻¹	Ce	Ce25	a	fc mm h ⁻¹	to min	tc min
Vegetado									
media	10,76	16,00	1,50	0,03	0,05	0,33	51,11	12,33	44,68
std	8,51	11,68	2,08	0,04	0,06	0,36	4,43	5,18	38,37
máxima	29,00	36,00	5,96	0,11	0,19	0,94	55,00	20,47	109,2
mínima	4,56	7,00	0,00	0,00	0,00	0,03	42,56	6,09	13,68
cuenta	6	4	10	10	10	4	10	4	4
Degradado									
media	4,25	6,75	12,91	0,23	0,39	0,11	31,44	9,22	57,44
std	0,74	2,11	5,33	0,10	0,14	0,06	9,39	2,08	23,83
máxima	5,00	9,30	19,46	0,35	0,59	0,22	43,41	12,00	94,61
mínima	3,00	4,54	6,76	0,12	0,21	0,06	17,04	6,66	27,15
cuenta	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MONNEGRE									
	tp min	te min	Esm mm h ⁻¹	Ce	Ce25	a	fc mm h ⁻¹	to min	tc min
Vegetado									
media	5,22	4,97	0,60	0,01	0,04	0,09	51,75	10,76	30,31
std	1,98	0,53	0,74	0,01	0,04		3,68	3,23	0,00
máxima	8,00	5,50	1,81	0,03	0,08	0,09	55,00	13,98	30,31
mínima	3,53	4,44	0,00	0,00	0,00	0,09	46,07	7,53	30,31
cuenta	3	2	4	4	4	1	4	2	2
Degradado									
media	1,84	2,93	12,44	0,23	0,38	0,28	36,44	6,18	21,98
std	0,69	1,14	2,30	0,05	0,07	0,11	2,91	1,03	4,88
máxima	3,09	5,10	15,99	0,31	0,48	0,50	40,12	7,58	26,54
mínima	1,30	2,05	9,43	0,18	0,29	0,20	32,24	4,46	13,13
cuenta	5	5	5	5	5	5	5	5	5
REQUENA									
	tp min	te min	Esm mm h ⁻¹	Ce	Ce25	a	fc mm h ⁻¹	to min	tc min
Degradado									
media	4,75	8,20	11,34	0,21	0,36	0,09	29,50	10,01	80,22
std	1,81	4,65	6,69	0,12	0,17	0,07	12,29	5,04	45,63
máxima	8,00	20,00	20,74	0,38	0,63	0,22	50,14	19,80	148,22
mínima	1,44	3,44	1,55	0,03	0,06	0,03	8,36	4,25	26,80
cuenta	9	9	9	9	9	8	9	9	9

Tabla 4.10. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹). Suelos secos sobre arcillas del Keuper en varias zonas del País Valenciano: Monnegre, Torís y Requena, distinguiendo entre suelos vegetados y no vegetados o degradados (*badland*)

4.3.2.1. Experimentos con lluvia simulada

En el caso de Torís, se observan diferencias significativas entre la hidrología de las unidades de suelos degradados y las de suelos vegetados, ya que en el

segundo caso el 50 % de los experimentos no produjeron escorrentía, mientras que en los primeros se produjo escorrentía en todas las superficies. En general, t_p y t_e se producen entre dos y tres veces antes en las superficies degradadas que en las vegetadas, aunque en estas últimas las escorrentías son insignificantes.

De los cuatro parámetros más importantes en la definición de la infiltrabilidad tres, C_e , C_{e25} y E_{sm} , tienen unos valores entre 6 y 8 veces mayores en los suelos degradados que en los vegetados, mientras que el parámetro f_c medio es un 62 % mayor en los suelos vegetados.

Además de la mayor infiltrabilidad de los suelos vegetados, las curvas de escorrentía nos muestran una más rápida estabilización de la infiltración en las superficies vegetadas (ver tabla 4.10).

En otras áreas de estudio sobre arcillas del Keuper, Requena y Monnegre, también se muestra como muy importante la distribución de la vegetación en el control de la hidrología de los suelos. En las tablas 4.10, se muestran los resultados de los experimentos realizados durante los periodos de máxima sequedad, el verano, en el cual el contenido en agua del horizonte superficial (0-2 cm) no superó el 3 % en ningún caso.

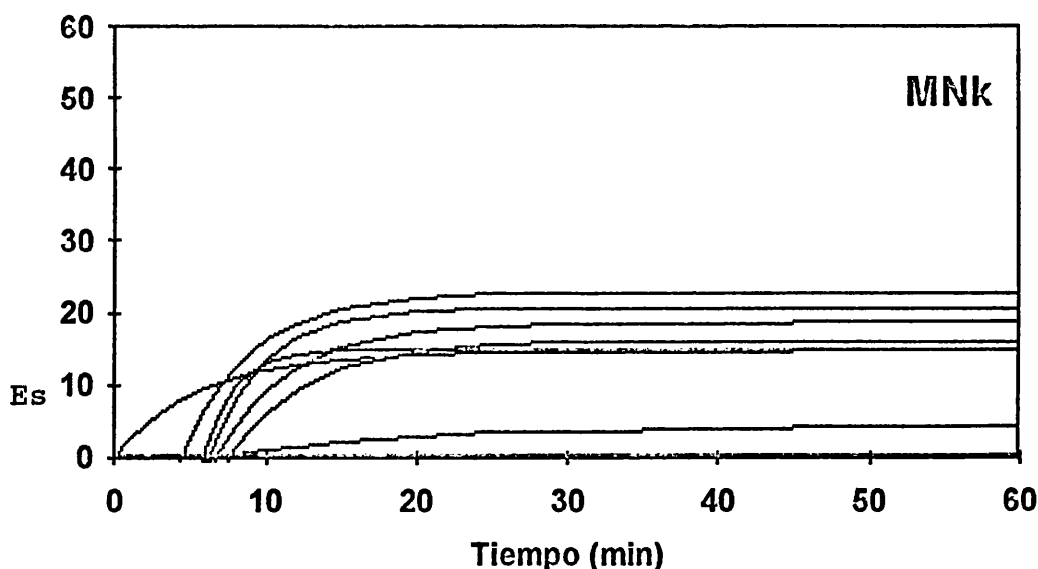


Figura 4.12. Curvas de escorrentía obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) en suelos secos (verano) sobre arcillas del Keuper en Monnegre

En Monnegre, nos encontramos ante *superficies estables*, con cubiertas de matorral muy poco denso (30 %). En estas superficies no se produce escorrentía o bien esta es insignificante, caso este último en el que t_p , t_e y t_o son muy retrasados,

mientras que los E_{sm} , C_e , y C_{e25} no superan los $51,75 \text{ mm h}^{-1}$, $0,01$ y $0,04$, respectivamente. El valor de f_c medio es mayor a 50 mm h^{-1} , pero teniendo en cuenta que el 50 % de estos suelos en estado de máxima sequedad no producen escorrentía, el verdadero valor de f_c sería mucho más alto (ver tabla 4.12).

Los suelos degradados, situados en las laderas de los abarrancamientos, presentan escorrentías importantes, las cuales se producen rápidamente (t_e , 2,93 min) y son fruto de un t_p incipiente (1,84 min). A pesar de esto, los valores de las escorrentías (E_{sm} , C_e y C_{e25}) y f_c ($36,44 \text{ mm h}^{-1}$) no son excesivamente altos para ser superficies degradadas. Sin duda la influencia de la baja humedad edáfica y la formación de grietas explica este comportamiento, como ya ocurría en las partes bajas de las laderas en el caso de Anna. Como veremos posteriormente, las superficies degradadas sobre arcillas del Keuper presentan tasas de infiltración mucho más altas que en otras litologías, lo que explica que los procesos de erosión estén dominados por movimientos en masa más que por escorrentía superficial.

En la figura 4.12, se muestran las curvas de escorrentía de los suelos en arcillas del Keuper de Monnegre (MNk), apreciándose un comportamiento muy distinto entre las superficie degradadas (valores de escorrentía final alrededor de 20 mm h^{-1}), respecto a los suelos vegetados, sin escorrentía o con escorrentías poco importantes (menores a 5 mm h^{-1} de escorrentía final).

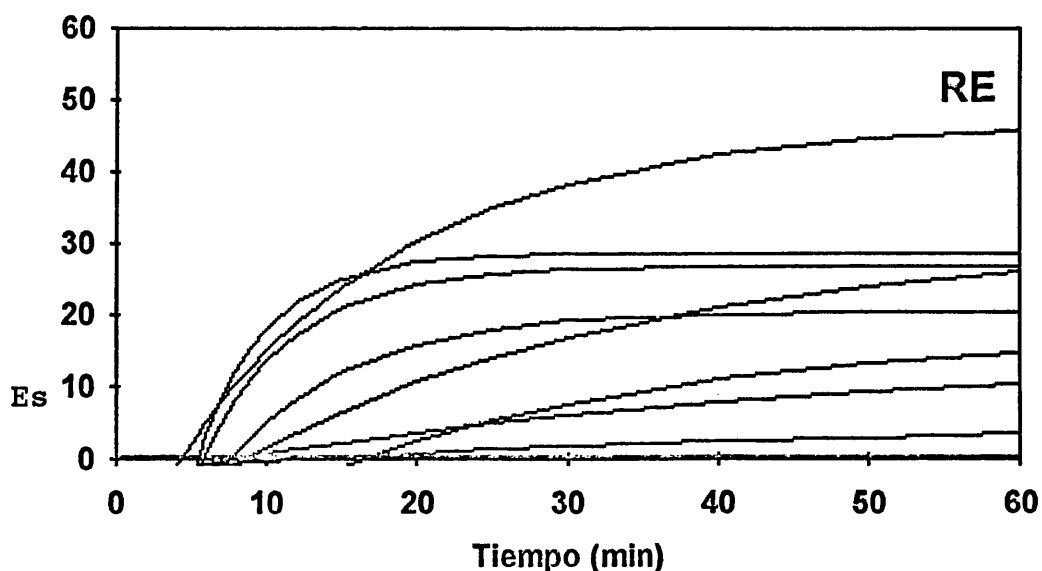


Figura 4.13. Curvas de escorrentía. Requena. Precipitación, 55 mm h^{-1} , en todas las pruebas

Estas altas capacidades de infiltración de los suelos degradados sobre arcillas del Keuper se confirma en el caso de Requena, donde t_p y t_e , así como t_o son más retrasados aun que en el caso de Monnegre, y en los que las curvas de escorrentía adoptan muy distintos comportamientos en relación a la dispar morfología superficial de los suelos (ver figura 4.13). En la fotografía 3.55 se muestra un ejemplo de las superficies degradadas sobre arcillas del Keuper en Requena.

Los bajos C_e hablan por si mismos de suelos en los que a pesar de la degradación tienen ciertas aptitudes para la infiltración (C_e 25 altos), donde la sequedad de los suelos en verano y el agrietamiento producen curvas de escorrentía (α) muy bajas y con escaso volumen de escorrentía (ver tabla 4.14).

En resumen, podemos decir que los suelos sobre arcillas del Keuper vegetado (30 % en Monnegre y > 80 % en Torís), tienen altas tasas de infiltración, lo que explica valores medios de f_c superiores a 51 mm h^{-1} , además de curvas de escorrentía muy planas, en las que según el modelo de Horton, la infiltración no se estabiliza hasta el minuto 80,22 en el caso de los suelos de Monnegre.

Por otra parte, los suelos desnudos tienen tasas de infiltración superiores a otras superficies semejantes en otras litologías: *pediments* o cárcavas en margas, horizontes argílicos en suelos calcáreos decapitados, etc. Además, las formas de las curvas de escorrentía son menos incipientes (ver figuras 4.12 y 4.13).

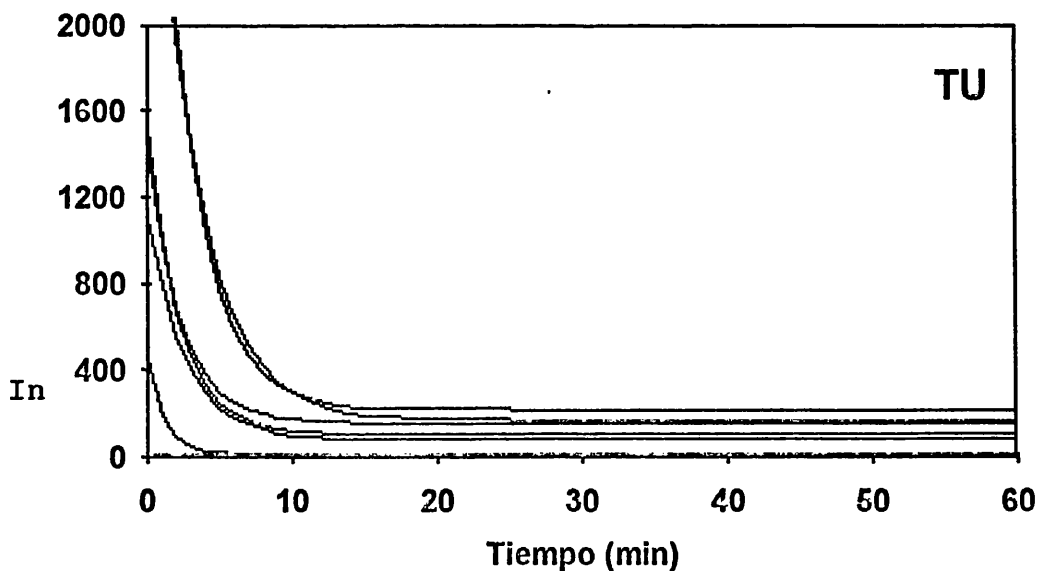


Figura 4.15. Curvas de infiltración obtenida a partir de infiltrómetros de cilindro. Suelos secos sobre arcillas del Keuper en Torís

4.3.2.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

Los experimentos con infiltrómetro de cilindro sólo se realizaron en Torís y en Monnegre. De ellos se desprende una clara influencia positiva de la vegetación sobre la infiltración, ya que en las zonas vegetadas la tasa de infiltración final estable es mayor en 4,5 y 2,5 veces a las no vegetadas para Monnegre y Torís, respectivamente. El parámetro f_0 confirma el anterior comportamiento, aunque es de destacar, que el valor máximo se encuentra en un suelo degradado (4244 mm h^{-1}), debido a que los agrietamientos favorecen tasas de infiltración iniciales muy altas.

Al contrario que los resultados con lluvia simulada, son los suelos de Torís los que presentan mayores tasas de infiltración estable, tanto para los suelos degradados, 3,3 veces, como para los vegetados, 1,8 veces mayores a los de Monnegre.

La variabilidad espacial es mucho mayor en los suelos degradados que en los vegetados, lo que nos confirma por otra parte los resultados vistos en otras zonas de estudio.

	TORÍS			MONNEGRE		
	f_0 mm h ⁻¹	i_a min ⁻¹	f_{fc} mm h ⁻¹	f_0 mm h ⁻¹	i_a min ⁻¹	f_{fc} mm h ⁻¹
Vegetado						
media	1526,88	0,32	255,73	1473,79	0,40	136,14
std	711,59	0,17	130,55	613,76	0,04	9,90
máxima	2968,04	0,54	425,53	2219,22	0,43	147,97
mínima	507,85	0,05	80,05	715,97	0,34	123,74
nº	7	7	7	3	3	3
Degradado						
media	1386,55	0,45	99,42	292,90	1,27	30,74
std	1650,05	0,26	81,77	55,31	1,22	28,55
máxima	4243,92	0,89	220,25	363,24	3,00	71,10
mínima	379,22	0,24	16,60	228,11	0,33	9,74
nº	4	4	4	3	3	3

Tabla 4.11. Parámetros de la ecuación de Horton obtenidos a partir del ajuste a mediciones con infiltrómetro de cilindro. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones. Suelos secos sobre arcillas del Keuper en distintos ambientes en el País Valenciano (Torís y Monnegre), tanto vegetados como degradados (*badland*)

Las curvas de infiltración obtenidas a partir de infiltrómetro de cilindro nos muestran que en ambas zonas, tanto en Torís como en Monnegre, existe una baja capacidad de infiltración, lo que afecta tanto al valor inicial de la tasa de infiltración como a la final estable (ver figuras 4.15 y 4.16). El rango de variación de f_{fc} es mucho mayor en los suelos de Torís, lo cual se debe a que también en éstos los niveles de cubierta vegetal oscilan entre el 100 % y el 0 % como consecuencia de estar en una zona más húmeda que en Monnegre.

La pendiente de las curvas de infiltración, como en el caso de Anna, son poco importantes, aunque es de destacar en general la baja capacidad de infiltración, tanto cuando $t = 0$, como cuando $t = \infty$, ya que el comportamiento es semejante a los suelos sobre margas, los cuales tuvieron un comportamiento muy distinto ante la lluvia simulada.

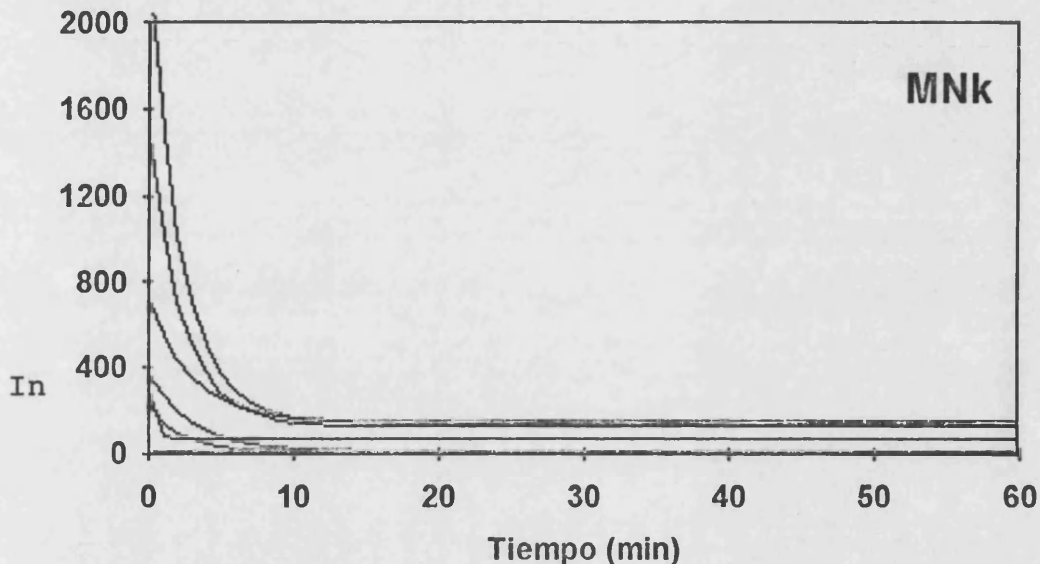


Figura 4.16. Curvas de infiltración obtenida a partir de infiltrómetros de cilindro. suelos secos sobre arcillas del Keuper en Monnegre

4.3.2.3. Pérdida de suelo

La cubierta vegetal se muestra como muy eficiente en el control de las pérdidas de suelo, debido a que cuando ésta existe, aunque sea sólo en un 30 % de su superficie, hace que las tasas de erosión sean insignificantes.

La concentración de sedimentos de la escorrentía es muy baja en las dos unidades de suelos vegetados, tanto en Torís como en Monnegre, ya que no supera en ningún caso los 2 g l^{-1} . Al contrario que en estos, los suelos degradados tienen concentraciones de sedimentos mayores: $14,73 \text{ g l}^{-1}$ para Torís, $20,51 \text{ g l}^{-1}$ en Monnegre y $22,53 \text{ g l}^{-1}$ en Requena. Los rangos de variación y la desviación estándar nos muestran comportamientos mucho más variables espacialmente para los suelos degradados que para los suelos vegetados, como lo demuestra que la concentración de sedimentos más alta sea sólo de $2,47 \text{ g l}^{-1}$ en los suelos vegetados y de $62,59 \text{ g l}^{-1}$ en los degradados.

Prueba	sd g l ⁻¹	sy g	TORÍS			
			er g m ⁻² h ⁻¹	tcs	Sa mS	ts
Vegetado						
media	0,31	0,29	1,31	-0,03	374,33	-1,13
std	0,42	0,58	2,21	0,05	0,00	0,00
máxima	1,10	1,95	6,56	0,00	374,33	-1,13
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,13	374,33	-1,13
nº	10	10	10	5	1	1
degradado						
media	14,73	19,96	136,71	0,43	460,80	-10,17
std	11,43	10,72	65,88	0,39	150,05	10,57
máxima	29,79	31,51	201,35	0,91	636,67	5,54
mínima	2,41	6,31	44,24	-0,08	203,00	-20,96
nº	5	5	5	5	5	5
MONNEGRE						
	sd g l ⁻¹	sy g	er g m ⁻² h ⁻¹	tcs	Sa mS	ts
Vegetado						
media	0,81	0,08	0,70	-0,10	1337,00	3,76
std	1,01	0,08	0,70	0,00	50,00	4,36
máxima	2,47	0,17	1,44	-0,09	1387,00	8,12
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,10	1287,00	-0,60
nº	4	4	4	2	2	2
Degradado						
media	20,51	29,57	267,37	-0,35	4174,67	-202,44
std	8,60	14,38	129,93	0,34	2474,58	176,95
máxima	29,11	48,07	445,12	0,06	8442,91	19,57
mínima	4,97	5,31	46,88	-0,88	1206,37	-421,15
nº	5	5	5	5	5	5
REQUENA						
	sd g l ⁻¹	sy g	er g m ⁻² h ⁻¹	tcs	Sa mS	ts
Degradado						
media	22,53	64,14	307,30	-0,04	476,91	-8,08
std	19,81	110,02	345,73	0,61	269,50	6,32
máxima	62,59	370,35	1176,22	0,94	958,27	-0,10
mínima	1,28	0,69	5,01	-1,04	83,71	-18,84
nº	9	9	9	9	9	9

Tabla 4.12. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones de los parámetros de la erosión de suelos sobre arcillas del Keuper vegetados y degradados (*badland*) en Requena, Monnegre y Torís. Todos los pruebas corresponden a experimentos estándar (55 mm h⁻¹, durante un periodo entre 30 y 60 minutos sobre suelos secos en verano)

Las tasas de erosión ratifican este comportamiento, ya que los suelos degradados tienen tasas de erosión medias que oscilan entre los 136 g m⁻² h⁻¹ en el caso de Torís, hasta 307 g m⁻² h⁻¹ en Requena, si bien existen suelos con tasas de erosión de hasta 445 g m⁻² h⁻¹. Los suelos vegetados en términos medios sufren pérdidas de suelo insignificante (0,7 y 1,3 g m⁻² h⁻¹), aunque puntualmente alcancen

hasta $6,56 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. En algunos casos, la erosión es nula en las superficies vegetadas debido a que la precipitación no superó la capacidad de infiltración, comportamiento que nunca se produce en los suelos degradados. Los sedimentos exportados durante los experimentos (sy) nos confirman las anteriores características (ver tabla 4.12).

La **salinidad de la escorrentía** depende en cada zona de estudio de la cubierta vegetal, siendo la relación con esta variable negativa. Pero este comportamiento no es igual para las tres zonas de estudio, ya que en el área más árida (Monnegre), la salinidad alcanza valores muy altos: 1337 mS para los suelos vegetados y 4174 mS para los degradados. En los restantes suelos, tanto en Torís como en Requena, la salinidad es similar en los suelos degradados, 460 y 476 mS respectivamente, siendo algo inferior en los suelos vegetados de Torís (374 mS).

La **tendencia temporal de la concentración de sedimentos** es negativa en todos los casos, siendo en las zonas de Monnegre y Torís menor en los suelos vegetados que en los degradados, lo que está relacionado con la magnitud de los valores absolutos (ver tabla 4.12). Algo similar ocurre con la **tendencia temporal de la salinidad de la escorrentía**, claramente negativa en todos los casos, excepto en los suelos vegetados de Monnegre (+ 3,76). La magnitud del decrecimiento del contenido en sales de la escorrentía es mayor en los suelos degradados, alcanzando el valor mínimo en un suelo degradado de Monnegre con -421.

* * *

En conclusión, podemos decir que la hidrología de los suelos sobre arcillas del Keuper está caracterizada por una elevada infiltrabilidad respecto a los suelos sobre margas, ya que para cubiertas semejantes los valores de f_c son mayores y las pendientes de las curvas de infiltración menores. Las tasas de erosión, como consecuencia de la mayor infiltrabilidad y menor erodibilidad, también son inferiores a las de los suelos sobre margas. Otra característica de las cuencas sobre arcillas del Keuper es el control ejercido por la exposición (mayor infiltrabilidad y menor erosionabilidad de la ladera norte) y por la posición geomorfológica de los suelos: las partes bajas sufren una elevada degradación como consecuencia de la erosión remontante, que se ve reflejada en mayores tasas de infiltración y erosión.

Por lo tanto, la elevada infiltrabilidad, la reducida erosionabilidad y la muy alta variabilidad espacial, determinada esencialmente por los procesos erosivos (incisión basal) y las morfologías superficiales (grietas), son las características esenciales de la hidrología de los suelos sobre arcillas del Keuper. Además, la elevada salinidad de la

escorrentía es típica de estos ambiente, aunque en menor grado que en áreas de yesos (NAVAS, 1990)

4.4. Hidrología superficial de los suelos calcáreos

En el caso de los suelos sobre calizas, se ha prestado una especial atención al diseño experimental, debido a la gran superficie ocupada por esta litología en el conjunto del País Valenciano.

Además, completando la información aquí aportada, se presentan en el apartado 4.5. datos sobre la influencia de los incendios sobre la respuesta hidrológica y erosiva de los suelos calcáreos, como se hace en el apartado 4.6 para las alteraciones introducidas por el abandono de cultivos. Para la estación seca, Verano, se han realizados 82 experimentos en diferentes partes de la cuenca distribuidas entre las laderas norte y la sur, distinguiendo en cada una de ellas entre las partes medias, altas y bajas.

Los resultados nos muestran una mayor infiltrabilidad de los suelos de la ladera norte, como se confirma con el número de superficies que son capaces de absorber el 100 % de la precipitación simulada en nuestros experimentos, 18 de 39. Concretamente, el número de estas superficies es de 6 (de 11 pruebas) en la parte alta, 6 (de 15) en la parte media y 6 (de 13) en la parte baja. En el caso de la ladera sur, el comportamiento es diferente, 3 (de 12) en la parte alta, 2 (de 14) en la parte media y 2 (de 13) en la parte baja. Este patrón de distribución espacial de la infiltración de los suelos en la cuenca de drenaje, junto a los rasgos de elevada infiltrabilidad, se repite para las mediciones tomadas con infiltrómetro de cilindro, y en buena medida determina la variabilidad espacial de unas, ciertamente, reducidas pérdidas de suelo.

4.4.1. Las altas capacidades de infiltración de las laderas con matorral

En valores medios, dentro de cada ladera las variaciones son poco importantes, por lo que los patrones de distribución espacial son poco significativos entre las partes altas, medias y bajas. Las diferencias entre las laderas norte y sur son reducidas, si estudiamos las medias de la alta tasa de infiltración final estable (f_c), tan sólo $5,8 \text{ mm h}^{-1}$, pero hay que tener en cuenta que este parámetro estadístico nos puede llevar a engaño, ya que sólo el 18 % de los experimentos no produjo escorrentía en la ladera sur, con nuestros experimentos estándar, mientras que en la ladera norte fueron más del 46 % los que presentan valores de f_c superiores a la

precipitación. En número absolutos, nos encontramos con que de los 39 experimentos realizados en cada ladera 25 no producen escorrentía: 7 en la ladera sur y 18 en la norte.

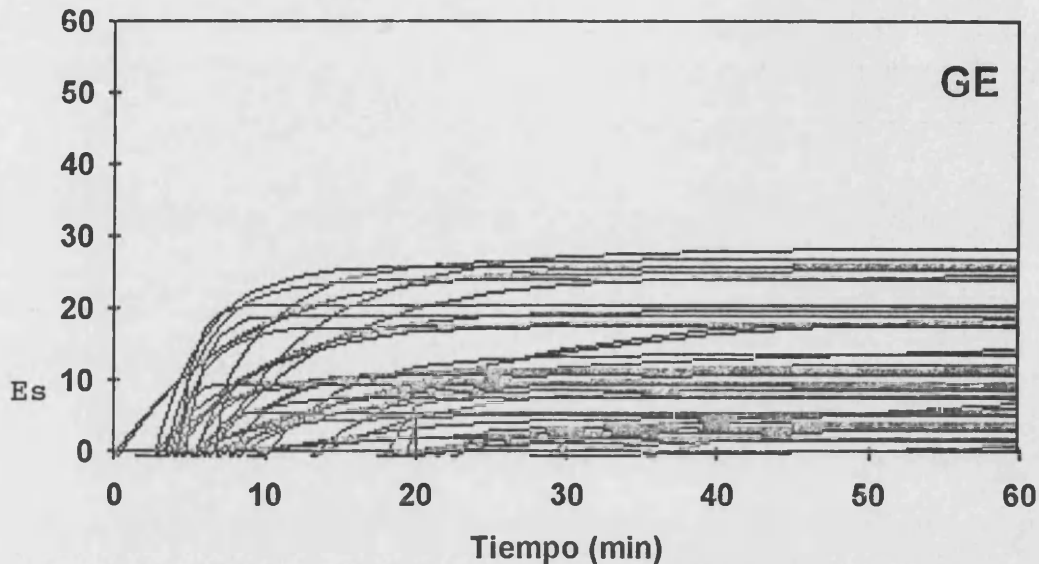


Figura 4.18. Curvas de escorrentía obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) en suelos secos sobre calizas del Campaniense en Genovés

4.4.1.1. Respuesta a la lluvia simulada

En la hidrología superficial de los suelos en las cuencas de drenaje sobre calizas, destaca además de las diferencias entre la ladera sur y la norte, el que en ambas vertientes y en cada una de sus partes existen superficies que son capaces de absorber toda el agua precipitada en nuestros experimentos. A pesar de ello, a escala de cuenca y ladera se pueden distinguir dos modelos espaciales en valores medios muy claros: uno en la ladera norte, donde a mayor altitud nos encontramos con una ligera menor infiltrabilidad en los suelos, y otro en la ladera sur, donde se produce una mayor tasa de infiltración final en la parte media.

En ambas laderas, existen suelos más desarrollados cuanto más cerca se encuentran de la base, tal vez debido a la reducción de la pendiente, de la exposición al sol (menor insolación), la acumulación de humedad, de sedimentos o bien a la influencia de todos ellos, combinada con la aceleración de los procesos de degradación y erosión que suponen los continuos incendios forestales. Pero si los anteriores factores facilitarían el desarrollo de suelos más maduros en la base de la ladera o al menos con mayores capacidades de absorción de agua, nos encontramos

con aspectos como la antropización del medio, la cual favorecen una degradación más intensa de las partes bajas de las laderas. Así, tanto durante los periodos en los que la acumulación basal fue de utilización agrícola, como en la actualidad debido a cazadores o excursionistas, es la parte baja la que sufre procesos de encostramientos y compactación importantes, sin duda favorecidos por los mayores contenidos en arcillas de los suelos de las bases de las laderas, y agravados en el caso de la ladera sur por su menor cubierta vegetal y la mayor insolación.

La influencia de distintos factores, así como la alta capacidad de infiltración general de los suelos sobre calizas, hace que la distribución espacial de la infiltrabilidad no tenga diferencias muy acusadas. Así, el rango de variación de los valores medios, varía entre la parte baja de la ladera norte con mayores tasas de infiltración estable ($50,5 \text{ mm h}^{-1}$) y escorrentías insignificantes ($Esm, 2,25$ y $Ce, 0,04$), y la parte alta de la ladera sur con menores aptitudes para la infiltración ($fc, 42,07 \text{ mm h}^{-1}$, $Esm, 9,41$ y $Ce, 0,18$).

En la ladera norte, a pesar del control de la posición geomorfológica, los valores de tp , te y to , aunque con tendencia a reproducir el patrón espacial de la producción de escorrentía antes comentado, no lo hace con exactitud. Esto se debe a la existencia de suelos pisados y encostrados en la parte baja de ladera, así como faltas en la toma de datos, lo que hace que no se vea claro el modelo espacial, el cual sí sigue en los volúmenes de escorrentía y en las tasas de infiltración.

Un comportamiento similar al explicado anteriormente lo encontramos en el caso del parámetro α , en el cual seguramente la existencia de suelos pisados y compactados, además de la menor pendiente, pueden ser las explicaciones de valores superiores a los de la parte media de la misma ladera. También vale la misma explicación para los valores de fc , ya que este valor está claramente relacionado con α . Las curvas de escorrentía de la ladera norte tienen valores de fc reducidos normalmente entre 40 y 55 mm h^{-1} , y como se observa en la figura 4.18, aunque la pendiente de las curvas es baja, en ocasiones hay suelos en los que la escorrentía alcanza rápidamente el máximo caudal.

La forma de la curva de escorrentía es diferente en los suelos de la ladera sur, en la cual los valores de fc varían principalmente entre 30 y 45 mm h^{-1} , y con valores superiores a los de la ladera norte en casi $0,2 \text{ min}^{-1}$ para el parámetro α (ver figura 4.18 y tabla 4.13).

En la ladera sur, los valores de fc para cada parte de la ladera son similares en valores medios, siendo tp , te y to los que marcan una clara correspondencia con la tasa de infiltración estable de los suelos: cuando mayor es fc más tarde se produce el encharcamiento, la escorrentía en superficie y el inicio del hidrograma.

		LADERA SUR								
	tp	te	Esm	Ce	Ce25	α	fc	to	tc	
	min	min	mm h ⁻¹				mm h ⁻¹	min	min	
PARTE ALTA										
media	3,85	4,50	9,41	0,18	0,24	0,49	42,07	5,20	25,32	
std	2,92	2,99	8,80	0,17	0,21	0,49	11,54	2,36	22,04	
máxima	11,11	11,50	29,46	0,56	0,69	1,59	55,00	8,64	79,94	
mínima	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,06	18,66	1,91	5,93	
nº	9	9	12	12	12	8	12	8	8	
PARTE MEDIA										
media	5,43	7,36	7,52	0,14	0,20	0,48	44,23	9,31	24,97	
std	3,06	4,62	6,34	0,12	0,16	0,62	8,31	5,52	9,20	
máxima	11,11	16,30	20,79	0,38	0,49	2,29	55,00	20,97	41,56	
mínima	2,43	2,57	0,00	0,00	0,00	0,12	29,08	2,75	7,94	
nº	12	12	14	14	14	11	14	11	11	
PARTE BAJA										
media	4,47	5,46	8,74	0,16	0,22	0,40	42,87	5,85	25,58	
std	2,72	3,25	8,74	0,16	0,22	0,36	11,80	2,72	18,17	
máxima	9,26	10,43	26,09	0,50	0,67	1,18	55,00	10,49	63,77	
mínima	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,04	17,94	2,00	8,05	
nº	12	10	13	13	13	11	13	11	11	
		LADERA NORTE								
	tp	te	Esm	Ce	Ce25	α	fc	to	tc	
	min	min	mm h ⁻¹				mm h ⁻¹	min	min	
PARTE ALTA										
media	4,56	6,86	6,04	0,11	0,17	0,30	46,27	8,66	22,73	
std	3,35	6,10	6,02	0,11	0,17	0,22	8,94	7,62	10,52	
máxima	10,30	19,00	15,68	0,29	0,48	0,86	55,00	22,51	39,34	
mínima	1,20	2,10	0,00	0,00	0,00	0,14	26,70	2,19	7,50	
nº	8	8	11	11	11	8	11	8	8	
PARTE MEDIA										
media	9,31	14,55	2,88	0,05	0,09	0,18	48,67	18,14	481,53	
std	7,17	13,30	4,47	0,08	0,13	0,25	7,60	13,95	805,10	
máxima	23,30	44,00	15,35	0,29	0,42	0,80	55,00	44,22	2117,89	
mínima	2,20	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	32,89	4,66	9,63	
nº	10	9	15	15	15	9	15	9	9	
PARTE BAJA										
media	6,90	11,97	2,25	0,04	0,07	0,24	50,50	17,64	76,59	
std	5,76	6,69	3,21	0,06	0,09	0,18	6,30	7,98	92,32	
máxima	19,00	21,30	9,50	0,17	0,28	0,45	55,00	29,66	295,22	
mínima	1,30	2,10	0,00	0,00	0,00	0,01	37,87	1,83	11,55	
nº	7	6	14	14	14	7	14	7	7	

Tabla 4.13. Parámetros hidrológicos medios, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) en los suelos secos sobre calizas del Campaniense en distintas posiciones geomorfológicas en las laderas de Genovés

En general, podemos destacar que la principal característica de las dos laderas estudiadas sobre calizas es la elevada infiltrabilidad de los suelos. Esto hace que las diferencias entre suelos y entre las distintas partes de las laderas sean más claras con el uso de los coeficientes de escorrentía (Ce), los cuales, en todos los casos, son menores a 0,18 de media, en todas las partes de la ladera. La media de la ladera sur

es 0,16 (0,18, 0,14 y 0,16, respectivamente para la parte alta, media y baja de la ladera), mientras que en la ladera norte es de 0,6 (0,05, 0,04 y 0,11, respectivamente para cada parte de la ladera), lo que demuestra la clara diferencia existente entre las dos laderas respecto al volumen de agua exportado.

Otra característica de la hidrología de la cuenca estudiada, es que la ladera sur presenta valores de α mayores que la ladera norte, al tiempo que en cada ladera el valor de este parámetro tienen una relación negativa con la capacidad de infiltración, manteniendo un patrón inverso al de f_c (figura 4.18). Así, los suelos de la parte alta de la ladera norte tienen los valores más altos, y la baja los más bajos del decaimiento exponencial de la tasa de infiltración, mientras que en la ladera sur este modelo se ve interrumpido por la antropización de los suelos de la parte baja. Este comportamiento se reproduce, en parte, con el parámetro t_0 , si bien hay diferencias insignificantes dentro de la ladera norte entre la parte baja y la media (ver tabla 4.18).

	LADERA SUR			LADERA NORTE		
	<i>ifo</i> mm h ⁻¹	<i>la</i> min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹	<i>ifo</i> mm h ⁻¹	<i>la</i> min ⁻¹	<i>ifc</i> mm h ⁻¹
PARTE ALTA						
media	2729,78	0,69	294,71	4224,69	0,51	443,97
std	1711,16	0,52	179,05	1793,86	0,15	198,15
máxima	5643,67	2,24	710,27	6900,64	0,74	781,95
mínima	810,15	0,25	34,13	2017,69	0,21	161,70
nº	11	11	11	9	9	9
PARTE MEDIA						
media	3475,89	1,01	591,38	7488,11	0,40	569,23
std	2429,08	1,12	222,85	3768,04	0,17	225,36
máxima	9032,16	3,00	912,75	15128,55	0,80	898,47
mínima	601,69	0,08	228,72	585,27	0,13	155,00
nº	10	10	10	10	10	10
PARTE BAJA						
media	2986,11	1,20	498,10	5724,45	0,44	655,74
std	3348,10	1,18	218,81	2805,85	0,16	187,62
máxima	14309,23	3,00	1074,81	10496,12	0,68	991,71
mínima	761,48	0,03	239,59	1562,36	0,20	212,90
nº	13	13	13	12	12	12

Tabla 4.14. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones de los parámetros de la ecuación de Horton obtenidos a partir del ajuste a mediciones con infiltrómetro de cilindro en suelos sobre calizas del Campaniense en distintas posiciones geomorfológicas en las laderas de Genovés

4.4.1.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

Las tasas de infiltración final estable medidas con infiltrómetro de cilindro varían entre 34,13 mm h⁻¹ y 1074 mm h⁻¹, aunque, en términos medios, para cada parte de las laderas estudiadas estas variaciones van de 294 mm h⁻¹ en la parte alta de la ladera sur a 655 mm h⁻¹ en la parte baja de la ladera norte.

Tanto para el parámetro f_c como f_o , se repiten los modelos de distribución espacial obtenidos con lluvia simulada (comparar tabla 4.13 y 4.14). En la ladera norte la infiltrabilidad es mayor cuanto más cerca de la base, mientras que en la ladera sur este modelo se ve alterado por las menores tasas de infiltración en la parte baja, siendo la parte media la de mayor capacidad de absorción de agua (591 mm h^{-1} para f_c y 3475 mm h^{-1} para f_o).

La forma de la curva de infiltración (parámetro α en la tabla 4.13 y figura 4.19) se caracteriza por las mayores pendientes en los suelos de la ladera sur, aunque en general, no se distinguen diferencias claras entre cada tramo de ladera, si bien, normalmente, a mayores f_c , α tiende a ser menor.

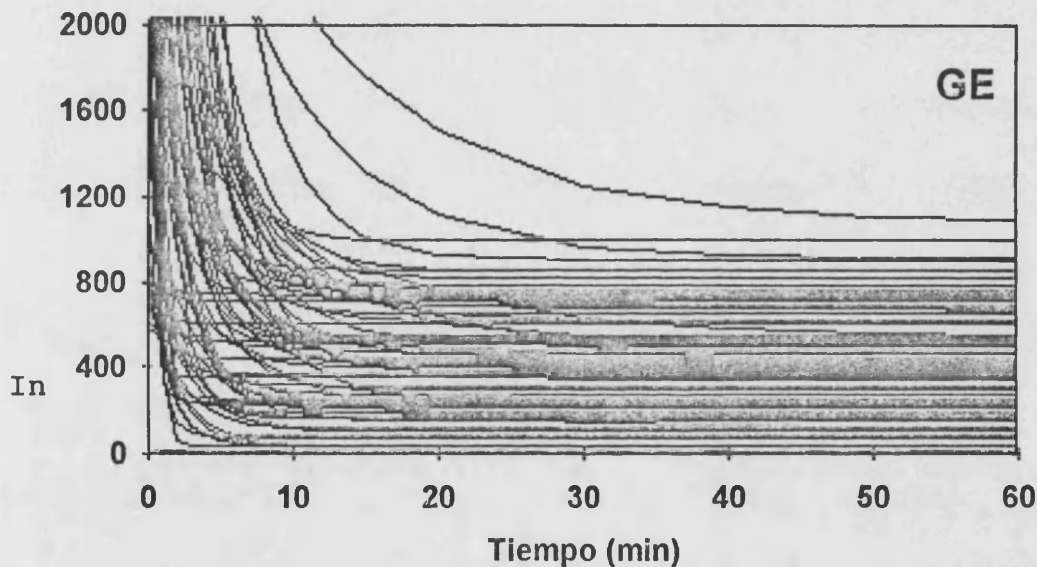


Figura 4.19. Curvas de infiltración obtenidas a partir de infiltrómetro de cilindro. Genovés

4.4.2. Comportamiento de la pérdida de suelos

Los reiterados patrones espaciales de comportamiento hidrológico de los suelos, según la posición geomorfológica, se repiten claramente para los parámetros que nos ilustran la pérdida de suelo en las dos laderas estudiadas en Genovés.

La concentración de sedimentos de la escorrentía varía entre 0 g l^{-1} para los suelos sin escorrentía, hasta un máximo de $3,96 \text{ g l}^{-1}$, lo que comparado con cualquier otra zona de estudio (excepto Puçol) nos indica una escasa erodibilidad de los suelos. En términos medios, hay una diferencia bastante clara entre los suelos de la ladera sur ($1,46$, $1,13$ y $1,31 \text{ g l}^{-1}$, para la parte alta, media y baja) y los de la

ladera norte (0,42, 0,23 y 0,28 g l⁻¹, para la parte alta, media y baja, respectivamente).

	<i>sd</i> g l ⁻¹	<i>sy</i> g	LADERA SUR		<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
			<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>		
PARTE ALTA						
media	1,46	1,48	9,83	-0,05	192,35	-2,02
std	0,79	1,33	9,92	0,04	152,21	0,53
máxima	2,52	4,68	33,73	0,04	433,67	-1,30
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,10	61,00	-2,80
n°	11,00	11,00	11,00	9,00	4,00	4,00
PARTE MEDIA						
media	1,13	1,45	8,63	-0,03	202,07	-1,33
std	0,84	1,47	7,08	0,06	179,54	1,00
máxima	3,42	5,80	24,69	0,03	549,67	-0,09
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,19	50,67	-3,10
n°	14,00	14,00	14,00	12,00	5,00	5,00
PARTE BAJA						
media	1,31	1,77	9,71	-0,06	328,00	-2,48
std	1,25	1,81	7,63	0,05	212,77	1,84
máxima	3,96	6,29	24,54	-0,02	577,00	-0,05
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,18	57,00	-4,49
n°	11,00	11,00	11,00	8,00	4,00	4,00
LADERA NORTE						
	<i>sd</i> g l ⁻¹	<i>sy</i> g	LADERA NORTE		<i>Sa</i> mS	<i>ts</i>
			<i>er</i> g m ⁻² h ⁻¹	<i>tcs</i>		
PARTE ALTA						
media	0,42	0,28	2,24	-0,03	168,65	-3,60
std	0,40	0,23	2,03	0,02	155,37	0,95
máxima	1,05	0,69	6,23	0,00	478,33	-2,00
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,07	73,96	-4,60
n°	9,00	9,00	9,00	6,00	5,00	5,00
PARTE MEDIA						
media	0,23	0,28	1,44	-0,01	71,80	-0,94
std	0,30	0,61	2,93	0,01	12,41	1,33
máxima	0,87	2,26	9,78	0,00	88,28	0,28
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,03	58,33	-2,78
n°	13,00	13,00	13,00	7,00	3,00	3,00
PARTE BAJA						
media	0,28	0,17	0,76	-0,02	171,56	-1,57
std	0,46	0,28	1,20	0,02	33,56	1,16
máxima	1,31	0,77	3,22	0,01	205,00	-0,63
mínima	0,00	0,00	0,00	-0,04	125,67	-3,21
n°	12,00	12,00	12,00	5,00	3,00	3,00

Tabla 4.15. Media, desviación estándar (std), valor máximo, valor mínimo y número de mediciones de los parámetros más significativos de la pérdida de suelo, en las superficies de distintas posiciones geomorfológicas, de las laderas sobre calizas del Campaniense en Genovés. Concentración de sedimentos (*sd*), sedimentos de campo (*sy*), tasa de erosión (*er*), tendencia de la concentración de sedimentos (*tcs*), conductividad eléctrica de la escorrentía (*Sa*) y tendencia de la conductividad eléctrica (*ts*). Datos provenientes de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos secos (verano)

La **tasa de erosión** también tiene un rango de variación elevado (de 0 a 33,7 g m⁻² h⁻¹), siendo la desviación estándar de similar magnitud a la de la media. La pérdida de suelo responde a un patrón inverso al de la distribución espacial de *fc*, es decir aumenta con la altura en la ladera norte (0,76, 1,44 y 2,24 g m⁻² h⁻¹) y es menor en la parte media en la ladera sur (9,83, 8,63 y 9,71 g m⁻² h⁻¹, respectivamente desde la parte alta a la baja).

La **salinidad de la escorrentía** varía entre 50 y 549 mS, ambos en la parte media de la ladera sur, siendo los patrones de distribución espacial totalmente distintos a los vistos en los aspectos anteriores. En la ladera sur, es mayor en la parte baja de la ladera (192, 202 y 328 mS en la parte alta, media y baja respectivamente), en cambio en la ladera norte este modelo se ve truncado por la menor salinidad de la escorrentía de los suelos de la parte media (72 mS), existiendo en la parte alta (168 mS) y la parte baja (171 mS) un ligero aumento de la salinidad.

Aunque el rango de variación va desde +0,04 a -0,19, la **tendencia temporal de la concentración de sedimentos** es negativa en todos los casos en valores medios. En la ladera sur, la magnitud del decrecimiento es mayor (-0,05, -0,03 y -0,06) que en la ladera norte (-0,03, -0,01 y -0,02).

En general, la **tendencia temporal de la salinidad** es negativa, variando los valores de experimentos individuales entre +0,28 y -4,49, aunque sólo una de las mediciones presentó una tendencia positiva. En términos medios, no hay mayor decrecimiento en la ladera sur (-2,02, -1,33 y -2,48) que en la norte (-3,60, -0,94, -1,57), como ocurre con la tendencia temporal de la concentración de sedimentos, pero sí es esta tendencia mucho más acentuada.

* * *

A modo de resumen, podemos decir que la elevada capacidad de absorción de agua de los suelos sobre calizas y su menor variabilidad a escala de cuenca respecto a los suelos sobre otras litologías, esencialmente las litologías blandas como las arcillas del Keuper y las margas del Senoniense, se ve reflejada en que en todos los ambientes geomorfológicos hay suelos con valores de *fc* superiores a 55 mm h⁻¹ y en que el valor mínimo de *fc* es de 18 mm h⁻¹, y en ningún caso Esm es superior a 29,5 mm h⁻¹ y el coeficiente de escorrentía supera el índice 0,56.

A pesar de las diferencias a nivel de cuenca, ladera y en cada una de las partes de éstas, la infiltrabilidad de los suelos sobre calizas del Campaniense tienen un patrón de distribución espacial similar en cada una de las unidades de suelos

estudiadas, al contrario que en Anna o Petrer donde el contraste entre ellas es muy alto.

La alta infiltrabilidad de los suelos sobre calizas queda reflejada también en las reducidas tasas de erosión y en los elevados valores *ifc* y *ifo*, parámetros obtenidos a partir de infiltrómetros de cilindro, que ratifican las diferencias entre la ladera norte y la sur. A pesar de esto, las diferencias espaciales de la pérdida de suelo son evidentes, como han dejado constancia diversos nuestros experimentos y estudios en áreas cercanas muy similares (CALVO y LA ROCA, 1988).

4.5. El abandono de los campos de cultivo

En algunas de las áreas de estudio estudiadas anteriormente, en el fondo de los valles y aprovechando las acumulaciones de sedimentos y el mayor desarrollo de suelo, se construyeron terrazas de cultivo, las cuales en la actualidad están abandonadas y sometidas de nuevo a los procesos naturales (PEREZ-CUEVA y RECATALÀ-ROMERO, 1990). La importancia hidrológica y geomorfológica de estas construcciones antrópicas, y su abandono actual, sobre el proceso de desertificación (RUBIO, 1987) han hecho que les dediquemos un apartado especial en nuestro estudio. Este tema ha sido tratado desde dos perspectivas: primero, investigando la evolución de la infiltrabilidad de los suelos, así como de la erosión y producción de escorrentía, tras el abandono de los bancales, y en un segundo nivel, comparando tres situaciones características de terrazas de cultivos abandonados en el País Valenciano: las terrazas sobre margas en un medio árido (Petrer), sobre arcillas del Keuper en el interior de la provincia de Valencia (Torís) y explotaciones sobre suelos calcáreos en una zona más húmeda (Genovés). El estudio monográfico de los campos de cultivo completará los conocimientos de la dinámica erosiva e hidrológica de las cuencas, de las cuales los fondos de valle, habían quedado postergados a su análisis en este apartado.

4.5.1. Reconstrucción de la evolución hidrológico-erosiva de los suelos tras el abandono de las terrazas. Vall de Gallinera

En este apartado, se presentan los resultados de la evolución sufrida por los campos de cultivo tras su abandono, primero en los aspectos morfológicos y en la cubierta superficial del suelo, y luego en su hidrología y pérdida de suelo. Para ello se eligieron siete situaciones posibles de los campos de cultivo tras el abandono en una zona homogénea, en la misma posición geomorfológica, orientación y edad de construcción, y todo ello en un área menor a 1 ha. La descripción de la zona, las

características de los campos, y el diseño experimental, y algunos resultados se pueden consultar en el trabajo de RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, (1991) o en el capítulo dedicado a la metodología en este mismo trabajo.

Los experimentos con lluvia simulada se han realizado sobre campos cultivados, abandonados 1, 5, 10 y 20 años, y este último caso, incendiado. A éstos se ha unido un último caso, en el cual la tendencia evolutiva es hacia el empedregamiento de la superficie, también denominado en distintos estudios enlosados (RUIZ-FLAÑO, 1992). Este último tipo de suelo tiene una gran importancia en todas los campos yermos tras unos años de abandono, como también lo tiene la revegetación progresiva, las alternancias producidas por el pastoreo, los incendios puntuales, etc. (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, en preparación).

4.5.1.1 Cambios en el ecosistema suelo tras el abandono

El campo de cultivo del que partimos en la investigación es el **cultivado**. Este se caracteriza por estar roturado, con una cubierta vegetal y de piedras insignificante, pero a la vez sin ninguna costra en superficie. El abandono del campo supondrá la aparición incipiente de herbáceas, algunos musgos, y ocasionalmente los primeros restos vegetales, y con ello el mantillo (ver figura 4.20). Pero junto a estos aspectos positivos, las superficies de los campos de cultivo en su primer año sufren el impacto directo de la lluvia, así como cambios muy fuertes en la humedad y temperatura del suelo, lo que favorecerá la formación de costras.

Los campos abandonados cinco años, sufren una **colonización vegetal** importante (> 60 %), junto a un aumento de la cubierta de piedras, y un cierto desarrollo de los musgos y el mantillo. Estos procesos, aunque con una ligera ralentización, seguirán desarrollándose hasta alcanzar el estado clímax, que no debe ser muy diferente de la alcanzada tras veinte años de abandono en cuanto a cubierta vegetal, pero sí en cuanto a especies vegetales y desarrollo edáfico.

Con el abandono, además del continuo aumento de la cubierta vegetal (ver figura 4.20), nos encontramos ante cambios cualitativos de la vegetación que alterarán el comportamiento de todo el ecosistema. Así por ejemplo, entre los cinco y diez años de abandono aparece la primera invasión de especies arbustivas, esencialmente *Anthyllis cystisoides* y *Ulex parviflorus*, lo que junto al pastoreo continuado producen una mayor presión sobre la zona entre matas, y con ello una degradación de la cubierta de estos espacios. Cuando la vegetación arbustiva es la imperante, caso del campo abandonado 20 años, el mantillo se vuelve a regenerar a partir del aporte de este tipo de especies (*Cistus albidus*, *Pistacea lentiscus*,

Rosmarinus officinalis, etc.), así como por *Brachypodium retusum*. En estas situaciones, la cubierta vegetal está por encima del 90 % de forma global, por lo que el mantillo también sufre un crecimiento continuado, tanto en cobertera como en potencia, como ocurre con la cubierta vegetal tras el abandono del cultivo (figura 4.20).

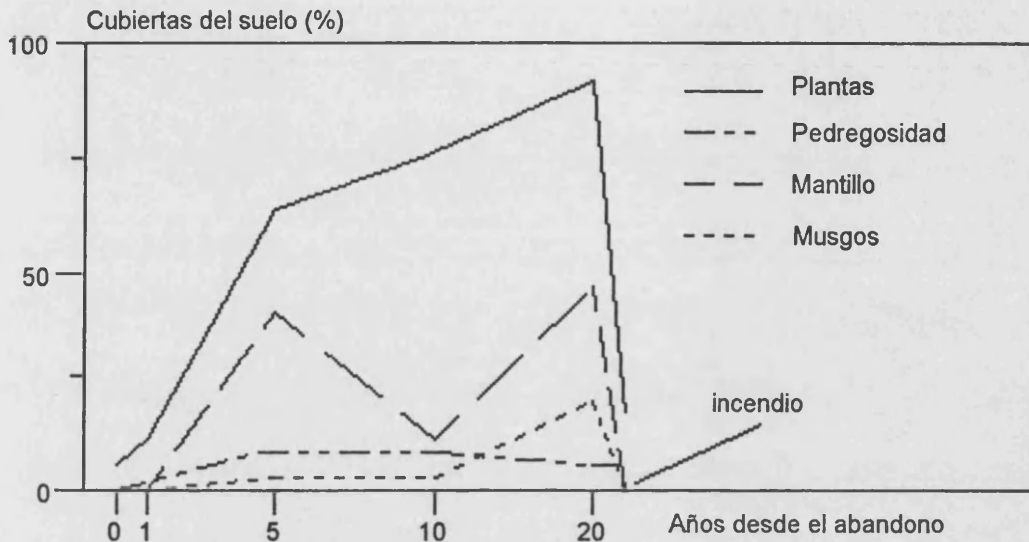


Figura 4.20. Cambios en la cubierta superficial tras el abandono de los campos de cultivo. Datos obtenidos a partir de terrazas de cultivo con distintos años de abandono sobre calizas del Senoniense en la Vall de gallinera durante el verano de 1991

La pedregosidad se incrementa en los primeros años de abandono para luego estabilizarse y sufrir un ligero retroceso cuando la regeneración vegetal ya se ha hecho efectiva.

La evolución de las *especies vegetales y su distribución espacial*, se caracteriza por un rápido crecimiento en los primeros años de las herbáceas con una cubierta homogénea (pastizal), para luego ser sustituida progresivamente por una cubierta de arbustos y posteriormente de *Pinus halepensis*, aún poco importantes en nuestra zona de estudio. El tránsito de la cubierta de herbáceas a la de matorral se produce con el desarrollo de matas aisladas (*Ulex parviflorus* y *Anthyllis cystisoides* son las especies pioneras), que favorecen, tras el paso de los años, una cubierta densa acompañado en un segundo estrato por herbáceas acostumbradas a bajos niveles de luminosidad (*Brachypodium retusum*).

La importancia de los incendios forestales y las cubiertas de fragmentos de roca en nuestra zona de estudio nos llevó a investigar sus efectos sobre la hidrología y erosión del suelo. En el caso de los incendio, nos encontramos con superficies que

pierden toda la cubierta vegetal, aunque la regeneración de ésta es rápida. La pedregosidad superficial es poco importante por que queda bajo las cenizas, al contrario que en los enlosados, en los que además de la abundante cubierta de fragmentos de roca, nos encontramos con cubiertas vegetales importantes, tanto de matorral de porte bajo (*Ulex parviflorus*, *Cistus albidus* y *Thymus vulgaris* esencialmente), como de herbáceas. Un análisis más detallado de la evolución de la cubierta vegetal tras el abandono de los cultivos se hace en el trabajo de RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, (1991).

4.5.1.2 Evolución de la infiltración

Como se podrá comprobar en el apartado dedicado a los tres tipos de campos abandonados más importantes del País Valenciano: sobre arcillas del Keuper, margas senonienses y calizas campanieses, son estos últimos los que tienen mayores tasas de infiltración. Esta idea confirma el análisis de los resultados obtenidos en la Vall de Gallinera, ya que los coeficientes de escorrentía de todas las situaciones estudiadas son inferiores a 0,1.

En la figura 4.21 se presentan los parámetros hidrológicos medios y el rango de variación de los distintos experimentos realizados para cada terraza. Los valores de f_c en estos suelos, está en término medio para cada edad de abandono entre 50 y 55 mm h^{-1} , aunque puntualmente puede bajar de 40 mm h^{-1} . Esto es un indicativo de la alta infiltrabilidad de estos suelos, ya que la precipitación fue de 55 mm h^{-1} .

Los cambios en la infiltrabilidad de los suelos, tras el abandono, son poco importantes, seguramente como consecuencia de la alta capacidad de infiltración, pero son bastantes claros. Durante el cultivo, de los cinco experimentos realizados ninguno produjo escorrentía, a pesar de que varios de ellos tuvieron duraciones superiores a la hora. Se apreció, que 24 horas después del experimento, la superficie del suelo presentaba un encostramiento importante, con grietas de 2-3 mm de espesor, sin formar polígonos. Sobre este tipo de superficie, dos días después del primer experimento se repitió otro de similares condiciones, el cual no produjo escorrentía por la rugosidad de la superficie (herencia del cultivo), pero sí un encharcamiento que en algunos puntos sobrepasaba los 2 cm de altura.

La anterior experiencia nos ilustra sobre la importancia del encostramiento superficial en la generación de escorrentía tras el abandono, y nos explica porqué en el campo con tan sólo un año de abandono, tiene el menor valor de f_c de todas las situaciones estudiadas. Además, en estos campos abandonados un año se observa una mayor variación espacial de f_c , pues hay zonas en las que se ha producido

escorrentía natural previamente, lo cual ha formado una lámina encostrada por la deposición de sedimentos, siendo esta cubierta en la que la capacidad de infiltración es menor (36 mm h^{-1}). También en el campo de cultivo abandonado **un año**, nos encontramos con superficies con infiltraciones superiores a 50 mm h^{-1} , correspondiendo éstas a las zonas que han mantenido cierta rugosidad, y aunque encostradas por el impacto de las gotas, no han sufrido la homogeneización y aplanamiento que produce la escorrentía sobre estas superficies.

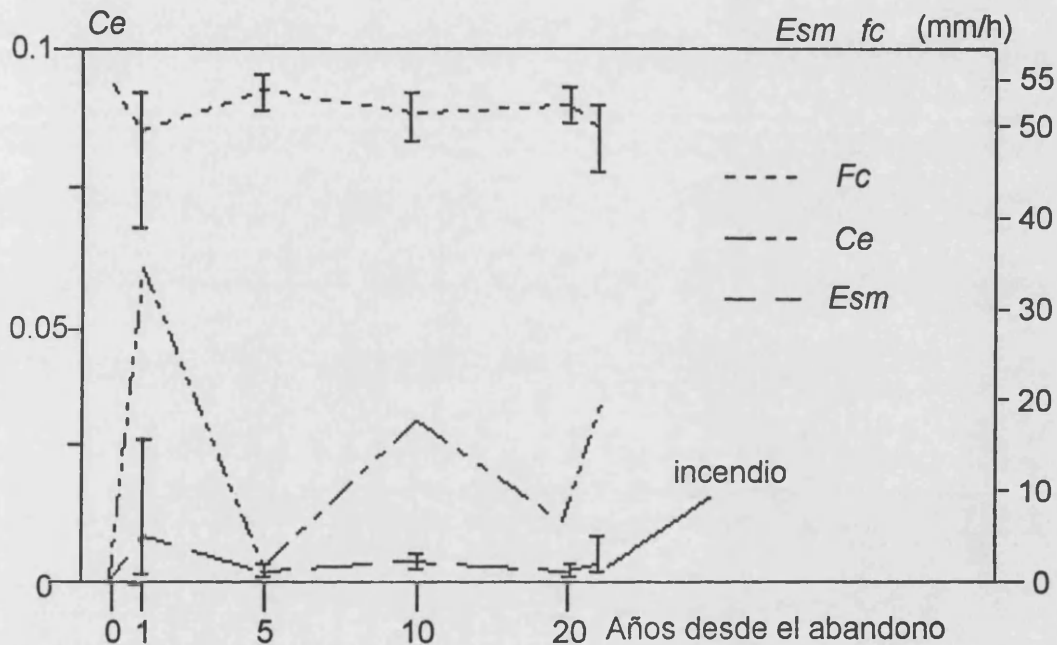


Figura 4.21. Evolución de los parámetros hidrológicos tras el abandono de los campos de cultivo. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos de terrazas de cultivo con distintos años de abandono. Experimentos sobre suelos secos. Calizas del Senoniense en la Vall de Gallinera durante el verano de 1991

El estudio de la terraza abandonada **cinco años**, nos muestra una recuperación parcial de los valores de la infiltración que se conseguía con el laboreo, si bien en este caso, esto se debe a la colonización vegetal sufrida por el suelo. Las variaciones espaciales, son muy bajas y todos los valores de f_c se encuentran por encima de 50 mm h^{-1} . Estas mismas características se observan en el campo de cultivo abandonado **diez años**, pero los valores medios de f_c son inferiores, lo cual se debe a que con la aparición de un matorral incipiente en las áreas entre matas (herbáceas) se sufre una mayor presión por parte del pastoreo, lo que supone una mayor compactación del suelo, y sobretodo una ligera reducción de la infiltración.

El campo abandonado **unos veinte años** presenta lo que suponemos situación normal o "climax" para estas terrazas una vez alcanzada cierta revegetación: valores

de f_c mayores a 50 mm h^{-1} en todos los experimentos, y en dos de ellos sin escorrentía durante los 60 minutos de duración de las pruebas.

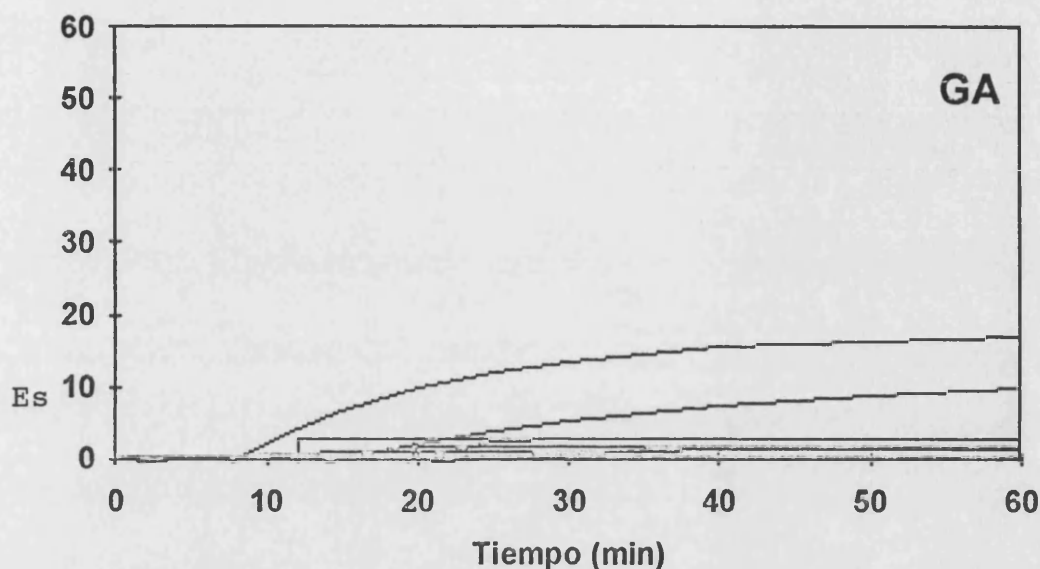


Figura 4.22. Curvas de escorrentía obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos de terrazas de cultivo con distintos años de abandono. Experimentos realizados sobre suelos secos sobre calizas del Senoniense en la Vall de Gallinera durante el verano de 1991

El incendio de este última terraza no supuso graves alteraciones en su hidrología superficial, ya que en los experimentos realizados tan sólo se produjo un ligero descenso de la infiltración, como sucedió en la terraza abandonada diez años como consecuencia de los cambios en la distribución espacial de la vegetación y la mayor presión del pastoreo. Si bien los volúmenes de infiltración no han variado mucho, el descenso ha sido tan sólo de $2\text{-}3 \text{ mm h}^{-1}$ de media en cada experimento, cabe destacar varias cuestiones: la importancia de las cenizas en la retención del agua en los primeros momentos, su papel como protector del suelo frente al encostramiento y transmisor de agua, así como la importancia de las grietas en cortocircuitar el sistema al traspasar agua directamente a profundidades superiores a 10 cm. Si bien el incendio no introdujo cambios cuantitativos significativos, sí favoreció cambios cualitativos en la infiltración, es decir, la forma en la que se produjo ésta fue preferentemente por la matriz del suelo, sino a través de las grietas que funcionaron como macroporos.

Los enlosados de piedras presentan, por su parte, unos valores similares de f_c a las terrazas abandonadas veinte años, lo que significa que estos enlosados, al

menos, no introducen factores negativos de la infiltración, y los podemos identificar con superficies estables.

Otros parámetros hidrológicos, C_e y E_{sm} , nos indican que las diferencias entre las distintas edades de abandono son poco importantes, aunque existentes (figura 4.21). Esencialmente, los anteriores parámetros nos muestran un incremento de la escorrentía tras el abandono, ya que durante el cultivo la infiltración de la lluvia se producía en un 100 %, para luego con la progresiva regeneración del suelo volver a los valores iniciales. Las variaciones posteriores, tras la revegetación producida durante los primeros cinco años, se deben a cuestiones puntuales: entrada del matorral en el sistema, e incendios.

La alta infiltrabilidad de los suelos en los campos abandonados de la Vall de Gallinera se ve reflejada en el gráfico 4.22, ya que excepto dos curvas de escorrentía identificadas con zonas encostradas, el resto tienen caudales insignificantes.

Los experimentos con infiltrómetro de cilindro, además de ratificar los anteriores comportamientos, muestran una elevada variabilidad espacial de la capacidad de infiltración, debido esencialmente a las múltiples situaciones estudiadas (figura 4.23).

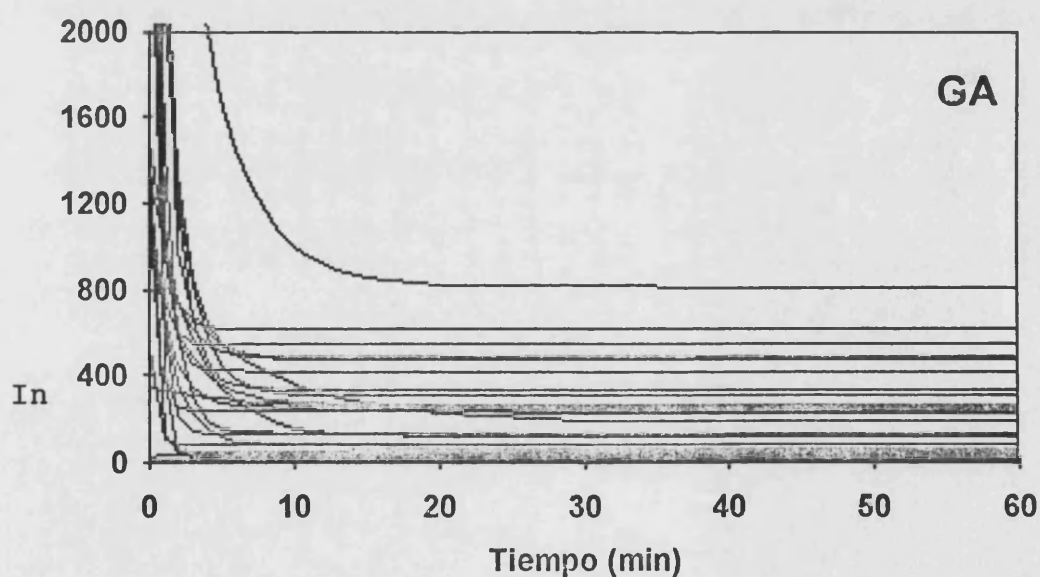


Figura 4.23. Curvas de infiltración obtenidas con infiltrómetro de cilindro sobre suelos secos en Vall de Gallinera (verano 1991)

4.5.1.3 Fluctuaciones en la pérdida de suelo

Debido a las bajas tasas de escorrentía y reducida erodibilidad de los suelos de las terrazas de cultivo tras el abandono, por lo que respecta a la pérdida de suelo la

característica esencial de los campos abandonados sobre calizas es la muy baja tasa de erosión. Si exceptuamos el caso del campo abandonado un año, en el que la regeneración vegetal aún es baja, y un ligero aumento tras el incendio, la erosión por arroyada superficial en estos espacios la podemos considerar insignificante o nula (figura 4.24).

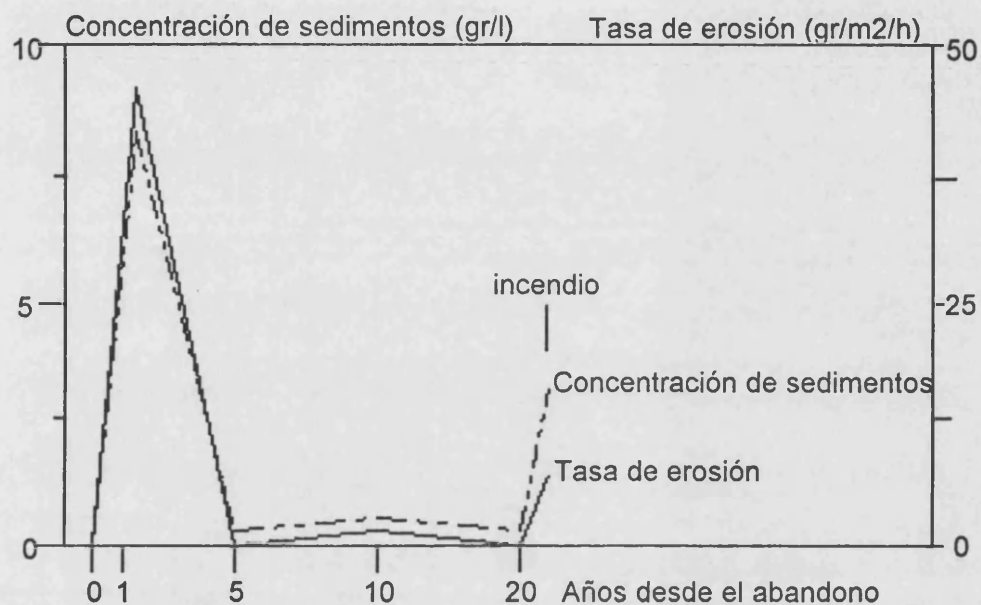


Figura 4.24. Evolución de los parámetros erosivos más significativos después del abandono. Datos obtenidos a partir de terrazas con distintos años de abandono en la Vall de Gallinera con experimentos estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos

Debemos destacar, que si en el caso de los parámetros hidrológicos las diferencias eran poco apreciables debido esencialmente a los elevados valores de la infiltración, en el caso de la erosión, éstas son muy claras (figura 4.24). La evolución temporal se podría resumir del siguiente modo: inexistencia de pérdida de suelo durante el cultivo por la alta capacidad de infiltración de los suelos (en ningún caso se produce escorrentía), seguido por un periodo tras el abandono -primer año- en el que nos encontramos ante tasas de erosión y especialmente de concentración de sedimentos muy altas. Tras este periodo de cierta inestabilidad en la superficie llegamos a la fase en la que la cubierta vegetal controla todos los procesos erosivos, alcanzándose con ella una clara estabilidad, sólo alterada por los incendios o por el aumento de la presión del pastoreo con la entrada del matorral.

4.5.2. Influencia de la litología en el comportamiento hidrológico erosivo tras el abandono: Petrer, Torís y Genovés

Los resultados del estudio de la Vall de Gallinera, explican que en general no existe escorrentía superficial en los suelos abandonados, o al menos, la forma de originarse no es siguiendo el modelo Hortoniano. En otros tipos de campos de cultivo abandonados, existen morfologías erosivas superficiales, lo que nos hizo suponer que la anterior conclusión no es adecuada para todas las terrazas del País Valenciano. Para corroborar la anterior hipótesis se ha realizado un estudio comparativo entre las tres tipologías de campos abandonados más importantes, identificadas básicamente con las tres litologías más representadas en el territorio estudiado.

En los tres casos, los campos se encuentran en un fondo de valle, son totalmente planos debido a la acción antrópica o al relleno natural posterior a la construcción de los muros, todos ellos tienen en la actualidad cultivos de olivos, y en los tres, las edades de abandono son semejantes: desde 1977 en Petrer, alrededor de 1973-1975 en Genovés y principios de la década de los ochenta en Torís. En el caso de los campos sobre margas (Petrer), se han realizado 17 experimentos, 16 en Genovés (calizas) y 14 en Torís sobre arcillas del Keuper, todos ellos con suelos secos en los veranos de 1990 y 1991.

Como hemos visto en los apartados anteriores, la litología ejerce un importante papel en el control de la hidrología de los suelos, pero junto a ella, vegetación, situación topográfica, uso antrópico, humedad del suelo, etc., pueden enmascarar esta influencia. Esto ha hecho que se hayan elegido suelos situados en similares condiciones, pero de litología distinta, aunque siempre identificándose con situaciones representativas del País Valenciano: Genovés representaría las terrazas abandonadas sobre sustrato calizo en un régimen pluviométrico húmedo, siendo similar a áreas como el norte del Sistema Bético, interior de Castellón (Sistema Ibérico) o bien áreas como el Caroig. Petrer sería el extremo opuesto, zona muy árida, con una litología muy erosionable y asimilable a los suelos abandonados y desmantelados por la erosión del sur del Sistema Prebético en la provincia de Alicante o incluso en otras provincias como Murcia o Almería. La zona de Torís corresponde a las áreas de precipitaciones intermedias, con suelos abandonados total o bien parcialmente en las áreas diapíricas del Keuper. Esta zona sería la representante de los campos abandonados que encontramos en el interior de las provincias de Valencia y Castellón, con dedicaciones casi exclusivas a viñedo y olivos.

4.5.2.1. Hidrología de los suelos abandonados ante la lluvia simulada

En el caso de los suelos sobre calizas del Campaniense, GENOVÉS, nos encontramos con dos patrones temporales y espaciales de generación de escorrentía dependientes de la cubierta vegetal:

- Suelos bajo cubiertas vegetales importantes, tanto herbáceas (*Brachypodium retusum*), matorrales (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y especialmente *Quercus coccifera*) como *Pinus halepensis*.
- Suelos con ligeros encostramientos superficiales y con bajas cubierta vegetales (*Ulex parviflorus*, *Cistus albidus* y *Cistus monpeliensis*).

En el primer caso, suelos muy vegetados, no se produce escorrentía durante los 60 minutos de lluvia simulada, mientras que en el segundo caso, suelos poco vegetados o zonas entre matas, tras un encharcamiento rápido (minuto 1-2), se produce la aparición de escorrentía en la superficie de la parcela (minuto 2-4), estabilizándose el caudal en el minuto 27,7 (ver tabla 4.16).

En general, nos encontramos ante suelos con *Esm* muy bajas (8,22 mm h⁻¹ de máxima) y *Ce* tanto de todo el experimento como del 25 % de escorrentía final (*Ce25*) muy poco importantes: 0,15 y 0,20 respectivamente para los valores medios. Este comportamiento hidrológico de los suelos se debe a tasas muy altas de infiltración, con más del 30 % de los experimentos sin producir escorrentía. Sobre los 27,5 mm posibles de infiltración en los primeros 30 minutos del experimento, los suelos abandonados sobre calizas absorben 23,52 mm de media, aunque lo más significativo es que el valor mínimo encontrado es 17,96 mm, el 65,5 % de la precipitación, lo cual nos ilustra sobre la alta infiltrabilidad de estos suelos.

En el caso de los suelos de campos de cultivo abandonados sobre margas del Senoniense, PETRER, nos encontramos con patrones temporales en la formación de la escorrentía incipientes, y sin la existencia de superficies con capacidades de infiltración superiores a la precipitación.

Los suelos estudiados en Petrer corresponden a dos tipos de superficies: vegetadas con matorral (*Salsola ginestoides*, *Helichrisum stoechas*, *Dorycnium pentaphilum*, etc.) y no vegetadas o en todo caso con una cubierta de herbáceas insignificante.

En las superficies vegetadas, *tp* se produce entre el primer y tercer minuto y *te* en el minuto posterior al encharcamiento. En las superficies desnudas y encostradas (cubiertas vegetales inferiores al 10 %), la escorrentía se produce rápidamente, alrededor del minuto 2, tras un encharcamiento muy incipiente (0,4-1 minuto). En estas superficies las grietas son abundantes pero poco profundas, no

existiendo ninguna relación entre el momento en que se produce la escorrentía en superficie con el cierre de estas, aunque seguramente debe tenerla sobre el caudal que se alcance en la salida de la parcela.

Tanto en superficies con baja cubierta vegetal, como en las vegetadas, la pérdida de agua por escorrentía son muy altas: más del 45 % de la precipitación, con *Esm* superior a 24 mm h⁻¹ en término medio (ver tabla 4.16).

En los experimentos estándar, generalmente, se conseguía la estabilidad de la infiltración antes de los 25 minutos, lo que nos demuestra la baja aptitud para la retención hídrica de estas superficies. En este sentido, el *Ce25* nos indica que la infiltración, cuando ya está estabilizada, es insignificante, pues ésta es superior a 0,6, en términos medios para los suelos sin vegetación y encostrados, y en algunos casos está alrededor de 1.

GENOVÉS						
	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>tc</i> min	<i>Vi60</i> mm
media	8,22	0,15	0,20	43,98	27,70	23,52
std	8,22	0,15	0,19	10,21	17,53	4,03
máxima	21,88	0,41	0,49	55,00	59,84	27,50
mínima	0,00	0,00	0,00	28,92	6,70	17,96
nº	15	15	15	15	9	15
TORÍS						
	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>tc</i> min	<i>Vi60</i> mm
media	10,97	0,19	0,27	40,66	25,82	20,52
std	11,03	0,19	0,23	11,93	27,41	7,49
máxima	35,53	0,59	0,70	55,00	109,22	27,50
mínima	0,00	0,00	0,00	17,46	8,92	0,00
nº	14	14	14	14	11	14
PETRER						
	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	<i>fc</i> mm h ⁻¹	<i>tc</i> min	<i>Vi60</i> mm
media	24,25	0,45	0,62	22,35	24,78	15,16
std	11,82	0,22	0,23	10,34	16,83	6,18
máxima	45,19	0,82	1,08	35,15	77,97	26,31
mínima	5,40	0,10	0,26	4,47	4,88	4,51
nº	17	17	17	17	17	17
nº	14	14	14	14	11	14

Tabla 4.16. Media, desviación estándar, máxima, mínima y número de mediciones de los principales parámetros hidrológicos de tres tipos de terrazas de cultivo abandonadas en el País Valenciano: Torís (arcillas del Keuper), Petrer (margas del Senoniense) y Genovés (calizas del Campaniense). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos secos (verano)

Las elevadas pérdidas de agua de estos suelos se debe a las muy bajas tasas de infiltración final ($f_c < 35 \text{ mm h}^{-1}$), lo que se ratifica por el bajo volumen de agua infiltrada en el minuto 30, ya que en los suelos vegetados los volúmenes son superiores a 20 mm, pero no alcanzan los 10 mm en los poco vegetados.

En TORÍS, arcillas del Keuper, los campos abandonados a principios de la década de los ochenta siguen siendo aprovechados agrícolamente en la actualidad, pero de forma muy esporádica y sin laboreo de las explotaciones en su totalidad. Como en Petrer y Genovés, el cultivo está dominado por especies arbóreas, olivos, pero a diferencia de éstas, en los años de buenas cosechas los árboles son podados y se limpia el espacio inmediatamente colindante al árbol para poder recogerse la cosecha. Esta limpieza de la vegetación natural se hace a mano, sin uso de maquinaria pesada, y generalmente consiste en el arranque de las matas de *Anthyllis cystisoides*. El laboreo esporádico de estos campos parcialmente abandonados, supone un aumento de la infiltración importante, como se puede ver al comparar las parcelas TU13 y TU14 (ver apéndice). El suelo que ha vuelto a ser cultivado tras un abandono parcial de unos diez años presenta escorrentías medias 8 veces menores, Ce_{25} 4 veces menores, Ce 7 veces menores y f_c y Vi_{30} más de 2 veces mayores que la que no ha sido cultivada en los últimos 10 años.

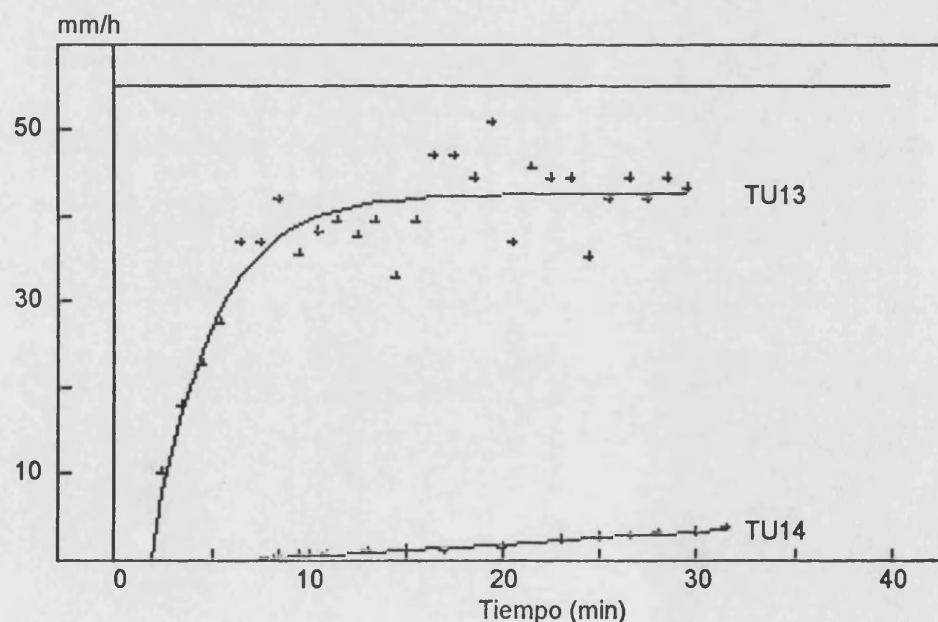


Figura 4.25. Influencia de la rotura de la costra superficial por el cultivo esporádico sobre la respuesta hidrológica de los suelos en Torís: suelo abandonado (TU13) y recientemente roturado (TU14). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1})

Los patrones temporales de generación de escorrentía, como el resto de los parámetros hidrológicos, están muy influenciados por la modificación de la superficie del suelo por el laboreo, así como por el abandono. En término medio, el encharcamiento se produce después del tercer minuto, la escorrentía en la parcela alrededor del minuto 7, y su salida y posterior medición entre el minuto 7 y el 12. Pero cuando hay grietas más grandes y profundas (5 mm de grosor y 5-10 cm de profundidad) ni tan siquiera se llega a producir escorrentía en la parcela, tan sólo encharcamiento entre las grietas.

Como se ha apreciado, los patrones temporales de generación de escorrentía y los diferentes parámetros hidrológicos son muy dispares en cada zona de estudio, observándose un comportamiento muy distinto de unas zonas a otras, lo que nos confirma la influencia de la litología sobre la infiltrabilidad de los suelos, no sólo en el volumen de agua infiltrada, sino sobre los cambios temporales en la tasa de infiltración.

Esm nos muestra una marcada diferencia entre Genovés y Torís respecto a Petrer, ya que en esta última zona este parámetro es en valores medios bien entre dos y tres veces mayor al resto de zonas. Los *Ce* y *Ce25* muestran comportamientos similares. Es de destacar que, a pesar de estas grandes diferencias, las desviaciones estándar son semejantes para los tres parámetros en cada una de las zonas, siendo en todos los casos la fuerte variabilidad espacial la característica dominante de la hidrología de los suelos, en parte debido a la polarización de la regeneración vegetal entre zonas vegetadas y con matas, y las no vegetadas.

Tanto *fc* como *tc* y *Vi30* reafirman la baja capacidad de retención hídrica de los suelos de campos abandonados sobre margas (tabla 4.16), así como que los suelos sobre Keuper tienen una muy ligera menor capacidad de infiltración que los abandonados sobre calizas. La desviación standard nos sigue mostrando comportamientos semejantes para las tres zonas, aunque la variabilidad espacial aumenta cuanto menor es la infiltrabilidad de los suelos. Así, el coeficiente de variación del parámetro *fc* es el doble en Petrer (46,3 %) que en Genovés (23,2 %), mientras que en Torís está en una situación intermedia (29,3 %).

El parámetro *tc* no indicaba diferencias claras individualmente (en ocasiones eran contrapuestas), pero los valores medios nos muestran cómo los suelos de Genovés alcanzan la estabilización más tarde que los de Torís, y éstos que los de Petrer. Esta gradación es indicativa de la estabilidad y capacidad de retención de agua de estos suelos, así como de los mecanismos de generación de escorrentía en cada uno de ellos. Las mayores aptitudes de los suelos de los campos abandonados sobre calizas para la infiltración, aún se esclarecen más al saber que en Genovés hay

cinco experimentos sin escorrentía, dos en Torís y ninguno en Petrer, valores no incluidos en f_c .

4.5.2.2. Mediciones con infiltrómetro de cilindro

El comportamiento hidrológico ante la lluvia simulada, descrito para cada una de las zonas estudiadas anteriormente, se repite con las medias obtenidas a partir de las medidas con infiltrómetro de cilindro. Los valores de f_c , aunque puntualmente varían entre 296 y 10 mm h⁻¹, tiene su valor medio máximo en los suelos de Genovés con 114,7 mm h⁻¹, seguidos de Torís (83,5 mm h⁻¹) y Petrer con tan sólo 58,6 mm h⁻¹. Estas mismas diferencias se aprecian en el caso del parámetro f_0 , pasando de 1980 mm h⁻¹ en el caso de Genovés, 883 mm h⁻¹ en Torís y finalmente 714 mm h⁻¹ en Petrer. La forma de las curvas de infiltración no presentan un comportamiento equiparable al modelo anterior, ya que Genovés tiene un valor intermedio entre Torís y Petrer (ver tabla 4.17), aunque las diferencias no son significativas.

GENOVÉS			
	f_0 mm h ⁻¹	α min ⁻¹	f_c mm h ⁻¹
media	1980,22	0,75	114,73
std	1680,26	0,64	80,96
máxima	6356,94	2,55	295,94
mínima	710,42	0,13	29,24
nº	12	12	12
TORÍS			
	f_0 mm h ⁻¹	α min ⁻¹	f_c mm h ⁻¹
media	883,34	0,84	83,44
std	733,83	0,97	56,87
máxima	883,34	6,00	71,10
mínima	228,11	0,33	9,74
nº	6	6	6
PETRER			
	f_0 mm h ⁻¹	α min ⁻¹	f_c mm h ⁻¹
media	714,46	0,69	58,57
std	404,13	0,30	46,21
máxima	1390,51	1,03	141,63
mínima	151,00	0,28	13,18
nº	7	7	7

Tabla 4.17. Parámetros de la ecuación de Horton obtenido con el ajuste de esta a datos de campo, procedentes de experimentos con infiltrómetro de cilindro sobre suelos secos de tres tipos de terrazas de cultivo abandonadas en el País Valenciano: Torís (arcillas del Keuper), Petrer (margas del Senoniense) y Genovés (calizas del Campaniense)

Los valores de f_c obtenidos con infiltrómetro de cilindro, son alrededor de 2,5 veces superiores a las mediciones con lluvia simulada (2,1 para Petrer y Genovés, y 4 para Torís), lo que comparado con los suelos naturales muestra un comportamiento algo diferente, ya que en términos medios la exageración de la infiltración con el infiltrómetro de cilindro en el conjunto de los suelos estudiados es de ocho veces.

4.5.2.3 Pérdida de suelo

La pérdida de suelo por arroyada superficial, presenta en los suelos de los campos abandonados una respuesta significativamente relacionada con la infiltración. Los parámetros de la pérdida de suelo nos permitirán caracterizar de forma más exacta, la influencia de la litología en la evolución de la hidrología y la erosionabilidad de los suelos tras el abandono del cultivo, y matizar ambas.

Los suelos de los campos abandonados presentan en el caso de GENOVÉS pérdidas de material muy bajas durante los experimentos (1,78 g por término medio). La concentración de sedimentos en la escorrentía es inferior en 1 g l^{-1} , excepto en las superficies pisadas (paso de cazadores o animales) donde se alcanza como máximo $4,14 \text{ g l}^{-1}$. Esta baja concentración de sedimentos, unido a la alta infiltrabilidad de los suelos, da lugar a tasas de erosión muy bajas, con la excepción de las zonas alteradas. En general, nos encontramos ante un medio en el que más del 60 % de las superficies tienen pérdidas de suelo insignificante (incluso sin erosión, por que no hay escorrentía), y el resto con tasas de erosión bajas (alrededor de $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Esta diferenciación entre superficies está determinada por la vegetación, ya que al primer grupo corresponden las parcelas con vegetación de matorral (grupo uno descrito en la respuesta hidrológica), y el segundo a las superficies con baja cubierta vegetal y encostramientos. De este último grupo, en determinadas épocas del año (paso de cazadores especialmente) y debido a la rotura de la costra superficial, la pérdida de suelo aumenta hasta tasas importantes: $71,25 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. La concentración de sedimentos tiende a decrecer con el tiempo, aunque la magnitud de este decrecimiento es reducido ($-0,02$).

La salinidad de la escorrentía es muy baja, menor a 100 mS de media. Los máximos ($> 140 \text{ mS}$) no se encuentran relacionados con ningún aspecto hidrológico o erosivo. La tendencia temporal de la salinidad también es clara: descenso. Esta reducción de la salinidad de la escorrentía es mayor en los suelos con mayor salinidad media, lo que nos demuestra que el lavado de las sales por la escorrentía hace que los valores tiendan a cierta estabilidad final.

En los suelos de campos abandonados de PETRER nos encontramos con tasas de erosión mucho más altas que en Genovés. En Petrer los suelos vegetados (fotografía 3.33) producen escorrentías con bajas concentraciones de sedimentos (menos de 3 g l^{-1}), y en ocasiones, cuando se forman costras de líquenes o musgos, ésta aún decrece hasta valores por debajo de 1 g l^{-1} (PR09). Los suelos sin cubierta vegetal (fotografía 3.54), producen escorrentías con concentraciones de sedimentos muy altas dentro del ámbito de los suelos sobre margas del Senoniense (alrededor de 6 g l^{-1}). Estas diferencias espaciales también se observan en los sedimentos totales exportados de la parcela durante el experimento.

GENOVÉS						
	cs g l^{-1}	sy g	er $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Sa mS	tsc	tSa
media	0,68	1,78	9,63	97,12	-0,02	-1,90
std	1,03	3,60	17,35	40,43	0,05	1,05
máxima	4,14	14,81	71,25	133,00	0,06	-0,09
mínima	0,00	0,00	0,00	27,00	-0,09	-3,72
nº	15	15	15	9	9	9

TORÍS						
	cs g l^{-1}	sy g	er $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Sa mS	tsc	tSa
media	2,07	3,77	36,01	309,86	-0,06	-2,24
std	3,79	6,76	74,08	116,60	0,14	4,29
máxima	14,90	24,30	278,56	374,33	0,08	0,00
mínima	0,00	0,00	0,00	159,00	-0,50	-16,40
nº	14	14	14	9	14	9

PETRER						
	cs g l^{-1}	sy g	er $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Sa mS	tsc	tSa
media	3,39	13,53	90,40	184,07	-0,13	-5,18
std	2,59	13,54	98,09	58,83	0,16	3,86
máxima	8,80	42,46	328,21	263,00	0,12	1,54
mínima	0,20	0,48	3,90	116,00	-0,44	-10,92
nº	17	17	17	17	17	17

Tabla 4.18. Media, desviación estándar, máxima, mínima y número de mediciones de los principales parámetros de la pérdida de suelo sobre tres tipos de terrazas de cultivo abandonadas en el País Valenciano: Torís (arcillas del Keuper), Petrer (margas del Senoniense) y Genovés (calizas del Campaniense). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano)

La pérdida de suelo demuestra que hay una fuerte variación espacial controlada por las matas de vegetación, lo que hace que podamos encontrar tasas de erosión de hasta $256 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en superficies colindantes a otras con $3,90 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, y situaciones intermedias dependiendo de la cubierta vegetal o estado de las costras superficiales. La tendencia de la concentración de sedimentos es

descendente excepto en cuatro casos, tres de ellos con aumentos muy poco importantes.

La salinidad de la escorrentía varía entre 118 y 263 mS, y las tendencias temporales son negativas. Ambos cambios temporales nos indican un lavado de la superficie, tanto por arrastre de materiales como por disolución de sales, reduciéndose en el tiempo ambas concentraciones debido a la reducción del material disponible de erosionarse o bien a un aumento de la escorrentía, que hace que disminuya la concentración de sedimentos y sales. Es de destacar, que en suelos con pendiente nula como éstos, el aumento del caudal no hace que el poder erosivo de éste aumente substancialmente, sino que el agua encharcada en superficie va drenándose paulatinamente, aumentando en todo caso la altura del encharcamiento.

En el caso de los campos semi-abandonados de TORÍS, las pérdidas de suelo durante los experimentos son muy bajas, inferiores a 2 g, aunque excepcionalmente hay superficies que producen hasta 24,3 g. Las concentraciones de sedimentos discrimina claramente entre los suelos vegetados y estables (no se llega a 1 g l^{-1}), y los suelos desnudos con escorrentías que arrastran hasta $14,9 \text{ g l}^{-1}$.

El suelo cultivado recientemente (TU14), que presentaba infiltraciones mucho más altas que el no cultivado o abandonado (TU13), tiene sin embargo una concentración de sedimentos en la escorrentía mayor, como consecuencia de la rotura de la costra por el cultivo. A pesar de ello, la tasa de erosión es mucho mayor en el segundo debido a las fuertes escorrentías.

El control de las matas de vegetación se observa claramente en la tasa de erosión, ya que las tasas menores a $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ corresponden a espacios sin vegetación, esencialmente cubiertas de herbáceas o de *Anthyllis cystisoides*, muy poco densas (20 %). Las superficies agrietadas, que favorecían tasas de infiltración muy altas, tienen tasas de erosión bajísimas o inexistentes por la no producción de escorrentía.

La evolución temporal de la concentración de sedimentos es en general negativa, pero hay que destacar que tan sólo en el suelo recientemente cultivado es positiva, seguramente porque el volumen de suelo potencialmente erosionable es muy elevado. Esto nos indica que la rotura de la costra superficial ha favorecido un aumento del material susceptible de ser transportado, y que éste aumenta paralelamente con el caudal.

La salinidad es bastante alta en todas las muestras, aunque los suelos más vegetados tienen escorrentías con menores contenidos en sales. La tendencia temporal de la salinidad es negativa en todas las muestras, siendo mucho más claro

en el caso de TU14. Esto último nos ratifica la idea de que la vuelta al laboreo parcial de una porción de la parcela abandonada favoreció un aumento del material disponible de ser erosionado, así como de las sales para ser lavadas.

La media de los diferentes parámetros erosivos nos permite establecer una gradación entre las tres zonas de estudio. A pesar de esto, como se ha visto, las diferencias espaciales son muy altas y en las tres zonas podemos encontrar suelos con altas y bajas tasas de erosión. De los tres tipos de campos de cultivo abandonados estudiados, los que presentan mayores tasas de erosión son los de Petrer, seguidos por Torís (la mitad) y Genovés (ocho veces menos). La influencia de la litología se deja notar especialmente en la concentración de sedimentos, donde los suelos sobre substratos blandos presentan concentraciones más altas: $3,39 \text{ g l}^{-1}$ para la margas del Senoniense y $2,07 \text{ g l}^{-1}$ para las arcillas del Keuper y muy bajas sobre calizas: $0,68 \text{ g l}^{-1}$. Los sy medios de la parcelas de Petrer son de $13,53 \text{ g}$ por experimento y demuestran con claridad el comportamiento tan diferente de suelos sobre litologías muy erosionable como son las margas en climas áridos.

La **tendencia temporal de la concentración sedimento** se muestra claramente snegativa, y lo es mucho más cuando mayor es la tasa de erosión y la concentración de sedimentos.

La **salinidad de la escorrentía** es mayor en Torís, seguido por Petrer, y por Genovés. En esta última zona, la salinidad es insignificante, mientras que en las otras dos y especialmente en Torís en suelos desnudos ésta fue elevada ($> 300 \text{ mS}$). La tendencia temporal de la salinidad en términos medios es negativa, y como en el caso de la concentración de sedimentos, lo es más en los casos en los que la erosión es mayor, especialmente en Petrer.

Las desviaciones estándar de las tres poblaciones estudiadas son muy grandes, pero es especialmente importante en el caso de los suelos de Torís, ya que las variaciones espaciales y temporales controlan la formación de grietas profundas, que determinarán a su vez la escorrentía y la erosión de forma contrastada. Es decir, las situaciones intermedias en Torís son menos abundantes que en las otras dos zonas, y en aspectos cómo la salinidad y concentración de sedimentos nos encontramos ante comportamientos realmente contrastados.

* * *

En conclusión, podemos decir que los campos de cultivo tras el abandono pasan por un retroceso en su capacidad de infiltración y un aumento de la pérdida de

suelo, especialmente el año posterior al abandono (RODRIGUEZ-AIZPEOLEA *et al.*, 1993). Esto se debe esencialmente a la falta de cubierta vegetal y al encostramiento superficial, pero la revegetación y el empedregamiento favorecen una recuperación paulatina del suelo y de su infiltrabilidad. Sólo la colonización inicial del matorral, acompañada del pastoreo y los incendios forestales, pueden provocar pequeñas alteraciones en favor de la pérdida de suelos y la producción de mayores volúmenes de escorrentía.

Los dos modelos de adaptación de los suelos tras el abandono son o bien el empedregamiento o bien la revegetación (matorral en su estado más desarrollado), respondiendo ambas con una elevada infiltrabilidad.

En general, los suelos estudiados en la Vall de gallinera, sobre calizas del Senoniense, tienen muy altas tasas de infiltración que hacen que las diferencias entre las distintas situaciones estudiadas tras el abandono sean muy reducidas. El comportamiento hidrológico de los suelos, ante la lluvia simulada, nos ha demostrado que la escorrentía Hortoniana será inexistente en estos ambientes, y que la destrucción de las terrazas es más factible de producirse por los derrumbes de los muros por la acción antrópica, movimientos en masa o bien por la pérdida de material vía flujo subsuperficial.

La comparación de los tres tipos de suelos sobre terrazas abandonadas del País Valenciano: arcillas, margas y calizas, nos ha permitido confirmar que en el caso de estas últimas, tras la importante regeneración vegetal, la infiltrabilidad de los suelos es tan alta que la pérdida de suelo y agua por arroyada superficial es insignificante, comportamiento también comprobado por otros autores (SIMANTON, 1991).

Al contrario que en las calizas, los suelos abandonados sobre margas del Senoniense en ambientes semiáridos, tienen reducidas tasas de infiltración, tanto en las mediciones con infiltrómetro de cilindro como con lluvia simulada. Esto hace que la escorrentía sea tres veces mayor en el caso de Petrer (margas del Senoniense) que en el de Genovés (calizas del Campaniense), lo que junto a una mayor erodibilidad de los primeros suelos da lugar a tasas de erosión diez veces mayores.

En el caso de los suelos abandonados sobre arcillas del Keuper (Torís), la hidrología superficial es similar a los suelos de Genovés, mientras que debido a su mayor erodibilidad, las tasas de erosión son tres veces superior.

Esta alta capacidad de infiltración de los suelos abancalados y abandonados se ha encontrado en otros ambientes a escala de cuenca (LLORENS, 1991), lo que confirma la elevada infiltrabilidad de los suelos aterrazados abandonados.

4.6. El fuego como factor modificador de la hidrología del suelo

La importancia del fuego, como un impacto antrópico más sobre los ecosistemas mediterráneos (LE HOUEROU, 1981) ha hecho que sea estudiado como un tema monográfico en distintos estudios (DI CASTRI, 1981; TRABOUD, 1990).

En nuestro estudio, la influencia del fuego sobre el comportamiento hidrológico y erosivo de los suelos se ha investigado de dos formas: la primera, comparando una zona tras un año desde el incendio (Bolbens) con otra incendiada doce años antes y que está en una situación de gran estabilidad (Genovés), y la segunda, haciendo un seguimiento de la evolución de la infiltración y las tasas de la erosión de los suelos incendiados (Bolbens), incluso desde el mismo día del incendio (Pedralba).

Al contrario que en los anteriores análisis de resultados, aquí se presentan los datos obtenidos con experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}), tanto durante periodos húmedos como secos, debido a la elevada dinamicidad temporal de los suelos tras el incendio hacen necesario este volumen de datos. También, al contrario que en el resto de las zonas, se ha obviado la presentación de los experimentos con infiltrómetro de cilindro, debido a que el número de pruebas realizadas era en nuestra opinión reducido.

4.6.1. Alteraciones hidrológicas y erosivas del fuego. Genovés-Bolbens

Para el estudio del efecto de los incendios sobre la hidrología y la erosión de los suelos, se han seleccionado 48 experimentos en dos laderas similares (laderas norte de Genovés y Bolbens) y en dos periodos distintos (suelos secos en verano y suelos húmedos en otoño).

Concretamente, la elección se realizó con el fin de caracterizar la ladera norte de Genovés con doce experimentos y repetir el diseño experimental en la ladera incendiada (Bolbens), tanto para suelos muy húmedos ($> 10 \%$ de *hsm*, en noviembre de 1990) como para suelos muy secos ($< 4 \%$ *hsm*, en julio-agosto de 1990). Aunque en Genovés, se realizaron más experimentos, se han elegido pares de parcelas semejantes en especies vegetales, pedregosidad, posición geomorfológica, etc., para que el número de parcelas no altere la comparación entre las dos zonas. En las tablas que presentamos a continuación, tablas 4.16 y 4.17, se incluyen los principales parámetros, tanto hidrológicos como erosivos, de la respuesta media de doce suelos por zona de estudio y periodo estacional (húmedo o seco). Se adjunta el

valor medio como índice representativo de la diferencia entre los suelos incendiados y no incendiados, y la desviación estándar como parámetro indicativo de la alta variabilidad espacial del proceso de infiltración, junto al valor máximo y mínimo.

Las dos laderas norte comparadas, Genovés y Bolbens, son de litología, pendiente, forma y desarrollo edáfico similar, pero la historia reciente de incendios es muy distinta; en Genovés el último incendio se produjo en agosto de 1981, mientras que en Bolbens ocurría el 1 de agosto de 1989. En el primer caso, la regeneración vegetal y edáfica ha sido lo suficientemente importante como para entender que ésta es la situación de máxima estabilidad del matorral, lo que sería una explicación de las diferencias tanto de la hidrología como de la erosión en periodos húmedos (CERDÀ y CALVO, 1991)

4.6.1.1. Respuesta hidrológica

En GENOVÉS, a pesar de la homogeneidad de la cubierta vegetal, se puede apreciar un sistema de manchas de vegetación más densa, junto a zonas que se pueden considerar pasillos o áreas de fácil tránsito. En estas últimas zonas, la escorrentía en los periodos secos se produce en muy raras ocasiones y cuando lo hace es tras un encharcamiento muy retrasado. En invierno, la escorrentía sigue siendo rara en estos espacios, donde densas cubiertas de *Quercus coccifera* y *Pistacia lentiscus*, con mantillos profundos y esponjosos cubriendo los horizontes orgánicos, dan lugar a tasas de infiltración superiores a la precipitación. Esto explica que el encharcamiento sea raro y cuando exista que sea muy retrasado (alrededor del minuto 15), circunscribiéndose a espacios muy determinados (superficies compactadas o degradadas). La escorrentía es inexistente generalmente, pero en ocasiones estos espacios generan pequeños caudales que alcanzan la salida de la parcela, después del minuto 20, aunque es bastante evidente que ésta se infiltrará en zonas con mayores tasas de infiltración.

Por otra parte, las zonas entre matas, ocupadas por herbáceas o por matorrales de bajo porte (*Thymus vulgaris*, *Globularia alypum*, etc.), generan escorrentías en un elevado porcentaje de las muestras. Los patrones temporales en la producción de la escorrentía son distintos en verano y en invierno, así en la estación húmeda *tp* se produce antes del minuto 2, *te* antes del 3 y *tes* se inicia entre el minuto 4 y 6, aunque en algunos casos se puede retrasar hasta el minuto 10. En verano, todos estos cambios en las superficies se producen mucho más lentamente, *tp* en el minuto 4-5, *te* entre el 10-15 y *tes* antes del minuto 20.

		BOLBENS				
	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>a</i> min ⁻¹	<i>fc</i>	<i>tc</i> min	<i>Vi60</i> mm
SECO						
media	4,65	0,08	0,27	47,84	31,24	49,61
std	3,85	0,07	0,20	5,83	20,54	4,89
máxima	11,01	0,20	0,59	55,00	83,33	55,00
mínima	0,00	0,00	0,04	36,42	10,14	40,81
nº	12,00	12,00	10,00	12,00	10,00	12,00
HUMEDO						
media	16,06	0,29	0,31	35,86	24,52	37,77
std	8,44	0,15	0,25	8,97	20,27	8,92
máxima	30,02	0,55	0,87	53,71	74,99	53,94
mínima	1,05	0,02	0,04	20,77	7,88	22,51
nº	12	12	12	12	12	12
		GENOVÉS				
	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>a</i> min ⁻¹	<i>fc</i>	<i>tc</i> min	<i>Vi60</i> mm
SECO						
media	1,77	0,03	0,07	48,70	515,23	53,00
std	1,99	0,04	0,07	7,14	806,67	2,57
máxima	6,01	0,11	0,20	55,00	2117,43	55,00
mínima	0,00	0,00	0,00	32,89	33,21	46,02
nº	12	12	5	12	5	12
HUMEDO						
media	6,67	0,12	0,25	46,03	43,90	48,07
std	5,65	0,10	0,23	6,69	36,56	6,08
máxima	17,19	0,31	0,70	55,00	99,20	55,00
mínima	0,00	0,00	0,03	34,55	6,70	36,45
nº	12	12	7	12	7	12

Tabla 4.16. Medias, desviaciones estándar, máxima, mínima y número de mediciones de los principales parámetros hidrológicos de dos zonas con distinto periodo de recuperación después de un incendio forestal: Genovés (12 años) Bolbens (1 año), con dos situaciones de humedad extremas (húmedo en otoño y seco en verano). Datos obtenidos a partir de 48 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹)

Estos patrones temporales de la producción de escorrentía, y el control espacial de la infiltración por la vegetación explican, comportamientos diferentes dentro de la misma ladera. Pero, a pesar de las grandes diferencias, como se puede observar en la tabla 4.16, los valores de escorrentía media son muy bajos para todos los experimentos (6,01 mm h⁻¹), y los coeficientes de escorrentía son inferiores a 0,11. Más importante aún es que el 50 % de los experimentos no produjeron escorrentía y que los valores de *fc* oscilen entre 32,89 y 55 mm h⁻¹. Todos los valores de α son muy bajos, lo que indica curvas planas, y valores de *tc* muy altos como consecuencia de la baja pendiente de las curvas de infiltración. El *Vi60* (volumen infiltrado en el minuto 60) nos indica que sobre los 55 mm posibles, la infiltración ha sido muy alta,

siempre por encima de los 46 mm, con una media de 53 mm. Los valores medios presentados en la tabla 4.16, nos caracterizan perfectamente la hidrología de estos suelos, sin duda dominada por una alta infiltrabilidad, como ya apuntábamos en el apartado 4.4.

En los periodos húmedos, la escorrentía aumenta respecto a los periodos secos estivales, y aunque se siguen manteniendo algunas superficies sin escorrentía, éstas sólo son ahora el 25 % de las parcelas. El resto de suelos tienen escorrentías medias bajas, siendo en general los valores de las escorrentías medias menores a 10 mm h⁻¹, aunque excepcionalmente pueden haber superficies con cierto encostramiento o compactación por ser zonas de paso, donde las escorrentías medias sobrepasan las 15 mm h⁻¹. Un ejemplo de que aumenta el agua exportada fuera del sistema suelo es que los coeficientes de escorrentía se han multiplicado por cuatro o cinco en muchos casos y se alcanzan escorrentías del 30 % de la precipitación. Esto mismo se ratifica al ver que *fc* se reduce en todas las parcelas siendo ahora inexistentes los suelos con valores superiores a 50 mm h⁻¹ si exceptuamos las superficies en las que no se produjo escorrentía.

En el caso de la ladera incendiada, BOLBENS, a pesar de esta situación negativa, un año después del incendio y con suelos extremadamente secos en verano (< 2,5 hs), existen superficies que no producen escorrentía tras una hora de experimento (tabla 4.19). Esta situación se ha producido en dos casos, y ha sido debida a la regeneración rápida de la vegetación (rebrote de *Quercus Coccifera*), lo que no sólo no ha impedido la erosión de la cubierta de cenizas, sino a que además se ha sumado hojarasca.

Otras áreas de rápida regeneración vegetal han sido las zonas cóncavas, donde además de mantenerse mejor la humedad y acumularse cenizas, la vegetación herbácea ha crecido muy rápidamente (*Brachypodium retusum*).

Las escorrentías medias del resto de parcelas son bajas, correspondiendo los máximos a superficies donde la regeneración vegetal ha sido poco eficiente durante el primer año. Los coeficientes de escorrentía muestran una situación similar: suelos sin escorrentía debido al éxito de su regeneración vegetal, acompañada en los dos casos por la protección de las cenizas del mismo incendio, y suelos con coeficientes cercanos a 0,2, donde la cubierta vegetal desarrollada ha sido poco importante.

La infiltración final estable (*fc*), muestra valores muy altos a pesar del incendio. En ningún caso *fc* es menor a 36 mm h⁻¹, y en un 40 % de los casos ésta es mayor a 50 mm h⁻¹, mientras que *V160* presenta valores de infiltración altos (> 40 mm). *tc* muestra valores muy bajos para los suelos con baja cubierta vegetal, siendo α para estos mismos muy alta (> 0,5), lo que nos identifica curvas de escorrentía muy

empinadas, seguramente relacionadas con la hidrofobicidad de los suelos tras los incendios.

La respuesta hidrológica encontrada con los suelos húmedos en la ladera incendiada es muy diferente a las tres situaciones presentadas anteriormente. La primera gran diferencia es que todos los suelos producen escorrentía, aunque en los dos casos con cubierta vegetal regenerada casi en su totalidad las escorrentías medias son muy bajas. En la situación otoñal que presentamos aquí, los C_e alcanzan valores importantes (el 25% son mayores a 0,4) como consecuencia de f_c en ocasiones bajos (50 % por debajo de 35 mm h^{-1}). Estas menores infiltraciones se reflejan no sólo en mayores volúmenes de escorrentía, sino también en mayores α , lo que nos demuestra un aumento en la tasa de decrecimiento de la infiltración. Este comportamiento otoñal del proceso de infiltración da como resultado que $Vi60$ sea muy bajo: 37,77 mm de media.

Es de destacar que entre la realización de los dos experimentos, el de verano y el de otoño, transcurrieron tres meses en los cuales la vegetación aumentó en ocasiones en un 50 % su cubierta vegetal, tanto por la aparición de nuevas especies, como por el rebrote de las que durante el verano estaban agostadas, lo que hace que estas diferencias pudieran ser mayores en el caso de no haberse producido estos dinámicos cambios en los suelos incendiados. Las fuertes variaciones espaciales de la infiltración, como de otros procesos y factores hidrogeomorfológicos, hace difícil la diferenciación entre paisajes, pero las medias, junto a las desviaciones estándar, nos describen con sencillez las diferencias entre las cuatro situaciones estudiadas (tabla 4.19).

El primer valor que jerarquiza claramente las diferencias entre las cuatro situaciones estudiadas es el número de experimentos en los que no se consiguió escorrentía: seis, en la ladera no incendiada en verano (tres en otoño), y dos en la incendiada en verano (ninguna en otoño). Las diferencias entre la ladera no incendiada y la incendiada en el periodo seco es baja debido a la alta capacidad de infiltración final de ambas: $48,7$ y $47,84 \text{ mm h}^{-1}$ respectivamente. Podemos decir, que la gran diferencia entre las dos laderas estribará en que f_c no varía de verano a otoño de forma importante en la ladera no incendiada, en cambio en la ladera de Bolbens f_c se reduce en 17 mm h^{-1} .

Estos cambios en la infiltración provocan que las exportaciones de agua por parte del suelo sean sólo importantes en la ladera quemada en los periodos húmedos (C_e 0,29), mientras que en el resto, el valor medio más importante es 0,12 en la situación húmeda de Genovés. La ladera incendiada, en verano, tiene volúmenes de

infiltración mayores a la de Genovés cuando está húmeda, pero mucho menores cuando se las compara en iguales condiciones de humedad.

No sólo hay diferencias en los volúmenes, también los hay en la forma en que éstos se producen. α aumenta claramente con la humedad, y siempre es mayor en la ladera incendiada, t_0 es mayor en la ladera no incendiada y decrece con el contenido de agua en el suelo.

Vi60 confirma que muestran los suelos de la ladera de Genovés tienen una mayor capacidad de retención hídrica, especialmente en verano, con unas muy altas capacidades de infiltración y almacenamiento de agua. La respuesta hidrológica de la ladera de Bolbens es semejante a la de Genovés para la situación de suelos secos, incluso dos parcelas de las doce estudiadas no producen escorrentía, pero con los suelos húmedos la pérdida de agua por escorrentía esn muy alta ($C_e = 0,29$).

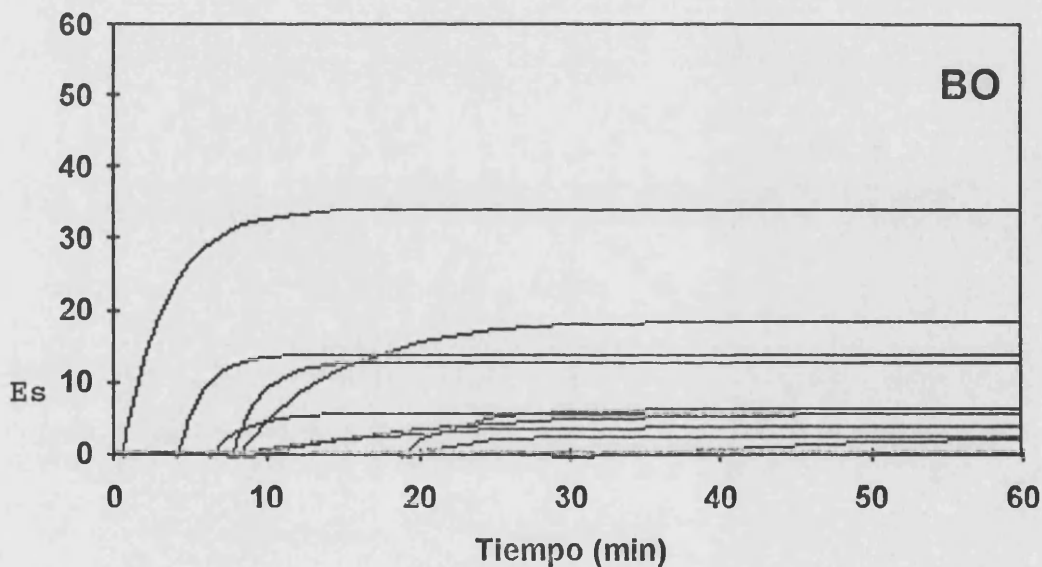


Figura 4.25. Curvas de escorrentía de Bolbens obtenidas a partir de experimentos lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) durante la estación húmeda (otoño de 1990)

En conclusión, nos encontramos con que sólo en momentos de alta humedad del suelo ($>10\%$ de h_s) encontramos diferencias muy importantes entre los valores de la infiltración de las laderas incendiadas respecto a las no incendiadas. Los mayores coeficientes de escorrentía, como consecuencia del incendio y de la mayor humedad del suelo, dan lugar a f_c menores, que acompañados de t_p , t_e , t_0 y t_c más rápidos, junto a α mayores nos demuestra que, además, de una escorrentía más rápida y voluminosa, las curvas de escorrentía presentan mayores pendientes en términos medios. Individualmente, las curvas de escorrentía de los periodos húmedos

en los suelos incendiados muestran tres morfologías: suelos con baja escorrentía y pendiente de la curva ($f_c > 45 \text{ mm h}^{-1}$), suelos con curva de pendiente intermedia y f_c entre 35 y 45 mm h^{-1} , y algún suelo sin horizonte orgánico que da lugar a escorrentías muy rápidas y curvas empinadas con tasas de infiltración muy bajas (20 mm h^{-1}).

4.6.1.2. Respuesta erosiva

Los cambios en la hidrología de los suelos como consecuencia de los incendios forestales, va a producir la aparición de alteraciones en la exportación de sedimentos para estos sistemas, y por lo tanto en la dinámica geomorfológica y edafológica de las laderas y de la cuenca de drenaje.

En la ladera de GENOVÉS, los suelos durante el verano (suelos secos) producen escorrentías con muy baja concentración de sedimentos, 0,42 g l^{-1} de valor medio. Estas bajas tasas de exportación de sedimentos se ven reflejadas en que en ninguno de los experimentos se llegó a movilizar más de 1 g. La baja erodibilidad de los suelos junto a su elevada capacidad de infiltración, explican que la tasas de erosión sean muy reducidas ($< 6 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). La tendencia temporal de la concentración de sedimentos es negativa, pero es muy poco intensa (-0,02 de media). La salinidad de la escorrentía es muy baja (81,62 mS) siendo su tendencia temporal al descenso.

La respuesta erosiva de los periodos húmedos es similar. La concentración de sedimentos se mantiene baja, aunque el valor es el doble que durante el periodo seco (0,84 g l^{-1}), lo que sin duda se debe a ligeras alteraciones antrópicas de las laderas, y a que hay más parcelas que producen escorrentía, por lo que los valores medios incrementan su magnitud. La tendencia temporal de la concentración de sedimentos se mantiene también negativa (-0,01). Tanto los sedimentos totales como la tasa de erosión, tienen valores superiores en otoño (10,5 $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), pero esto como hemos indicado anteriormente, no es debido una mayor erodibilidad de los suelos, sino a su menor capacidad de infiltración, como confirman nuestros resultados sobre la estabilidad estructural del suelo (ver apartado 5.4). La salinidad de la escorrentía es muy baja en los suelos húmedos ($< 64 \text{ mS}$) y su tendencia temporal es al decrecimiento, aunque en una magnitud ligeramente inferior a la situación estival (-0,64 y -0,84).

En el caso de la ladera recientemente incendiada, BOLBENS, en la situación estival ($h_{sm} < 3 \%$ de humedad en el suelo), la concentración de sedimentos es mayor a los dos casos vistos con anterioridad, a pesar que dos de las doce parcelas

estudiadas no produjeron escorrentía y por lo tanto la pérdida de suelo fue nula. Hay una clara dicotomía entre los suelos vegetados y no vegetados (umbral de 20 % de cubierta vegetal), ya que, cuando se supera este porcentaje, la concentración de sedimentos en la escorrentía es menor a 3 g l^{-1} . Especialmente susceptibles a la erosión son los suelos en los que además de una baja regeneración vegetal, han sufrido la pérdida del horizonte orgánico. La salinidad de la escorrentía muestra valores mucho mas altos a los vistos en la zona no incendiada (238 mS), siendo la magnitud del decrecimiento temporal semejante a aquella.

	cs g l ⁻¹	sy g	BOLBENS		tsc	tsa
			er g m ⁻² h ⁻¹	Sa mS		
SECO						
media	1,85	2,02	13,34	238,31	-0,02	-2,11
std	1,58	3,05	15,12	44,00	0,05	2,90
máxima	3,91	11,11	41,52	297,67	0,07	1,72
mínima	0,00	0,00	0,00	165,00	-0,09	-8,07
nº	12	12	12	8	10	8
HUMEDO						
media	2,51	6,21	46,30	57,36	-0,07	-1,23
std	2,59	6,88	47,37	18,46	0,10	0,97
máxima	9,26	20,36	165,30	88,67	0,02	0,22
mínima	0,00	0,00	0,00	31,00	-0,34	-3,03
nº	12	12	12	11	12	11
	cs g l ⁻¹	sy g	GENOVÉS		tsc	tsa
			er g m ⁻² h ⁻¹	Sa mS		
SECO						
media	0,42	0,30	1,34	81,62	-0,02	-0,86
std	0,46	0,36	1,72	56,86	0,02	0,98
máxima	1,31	0,95	5,47	184,00	0,00	-0,09
mínima	0,00	0,00	0,00	27,15	-0,05	-2,82
nº	12	12	12	7	7	7
HUMEDO						
media	0,84	2,02	10,28	48,60	-0,01	-0,64
std	1,11	3,98	19,11	14,17	0,03	0,73
máxima	4,14	14,81	71,25	64,00	0,06	0,28
mínima	0,00	0,00	0,00	24,38	-0,05	-2,38
nº	12	12	12	8	9	8

Tabla 4.17. Medias, desviaciones standard, máxima, mínima y número de mediciones de los principales parámetros de la erosión de dos zonas con distinto periodo de recuperación después de un incendio forestal: Genovés (10 años) Bolbens (1 año), con dos situaciones de humedad extremas. Datos obtenidos a partir de 48 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1})

En el periodo húmedo, otoño de 1991, estudiado la erosión de los suelos en Bolbens ha aumentado debido esencialmente a la menor infiltración. Los cambios en la hidrología y la alteración de las superficies por el pastoreo en la parte baja de la

ladera ha favorecido *sy* muy altos, y tasas de erosión mayores a $100 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en algunos puntos, aunque el valor medio es de $45,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

La **tendencia temporal de la concentración de sedimentos** es negativa (-1,23), pero en menor medida a la de los suelos secos (-2,11). La concentración de sedimentos es más baja durante los periodos estivales ($1,85 \text{ g l}^{-1}$) que durante el otoño ($2,59 \text{ g l}^{-1}$), mientras que la tasa de erosión es tres veces mayor en este último periodo ($13,3$ y $47,4 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), como también ocurre con los *sy* ($2,02$ y $6,21 \text{ g}$ respectivamente).

En resumen, como en el caso de la respuesta hidrológica, nos encontramos ante un modelo de comportamiento erosivo claro en términos medios, pero con unas variaciones espaciales muy fuertes. El modelo erosivo es más claro que el modelo hidrológico visto con anterioridad, ya que la magnitud de las diferencias es mayor (tabla 4.17), produciéndose un efecto multiplicador como consecuencia de la alta erodibilidad de los suelos con menores tasas de infiltración.

La **concentración de sedimentos** es mayor cuando los suelos están húmedos, tanto en suelos incendiados, como no incendiados durante los periodos húmedos. Esto es consecuencia de que hay más superficies que generan escorrentía durante los periodos húmedos, así como que en otoño nos encontramos con superficies alteradas por practicas como la caza o el pastoreo, que en los periodos estivales no se ejercitan por las prohibiciones y por la falta de pastos respectivamente.

El aspecto más claro es la mayor concentración de sedimentos en la escorrentía de la ladera incendiada, ya que en verano es 4,5 veces mayor y en otoño más de tres veces mayor que en la ladera no incendiada. Los *Sd* aunque dependientes del diseño experimental ratifican el comportamiento antes indicado, teniendo la ladera incendiada en verano los mismos valores que la ladera no incendiada en invierno, $2,02 \text{ g}$ de media por experimento.

La diferenciación más palpable entre las laderas aparece con las **tasas de erosión**, donde de menor a mayor nos encontramos con la ladera de Genovés en verano ($1,34 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), en otoño ($10,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), seguida de Bolbens en verano ($13,34 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y en otoño ($46,30 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

La **tendencia temporal de la concentración de sedimentos** es en todos los casos negativa, destacando claramente en magnitud los experimentos realizados en la ladera incendiada en verano. La salinidad presenta una clara evolución estacional ya que sus valores, al contrario que la concentración de sedimentos, son mayores en las situaciones estivales, especialmente en la ladera incendiada. Los cambios temporales

en la salinidad son significativamente negativos en todos los casos, pero mucho más en la ladera incendiada.

4.6.2 Regeneración de los ecosistemas tras los incendios

La evolución de los parámetros de la infiltración tras el incendio ha sido poco estudiado hasta el momento, por el enorme esfuerzo que supone hacer un seguimiento continuado y repetitivo de la misma zona de estudio. En nuestro caso, la experiencia del estudio en otras zonas, comparación entre Genovés y Bolbens, nos demostró que la influencia de la humedad hace que la hidrología de los suelos sea muy distinta entre las diferentes estaciones. Esto, junto a la dinamicidad de los espacios incendiados, hizo que el seguimiento de las superficies incendiadas se realizara mediante experimentos en verano, como periodo seco, y invierno, o bien finales de otoño, cuando el suelo había sido humectado en varias ocasiones por las lluvias naturales, como periodo húmedo.

En este apartado presentamos los resultados de dos áreas: Pedralba y Bolbens. En la segunda, incendiada en agosto de 1989, el seguimiento se realizó desde enero de 1990 a agosto de 1992, habiéndose realizados hasta ocho mediciones. En Pedralba se mantuvo el mismo diseño experimental, pero fue iniciado en agosto de 1990, el mismo día del incendio y se mantuvo hasta agosto de 1992, con cinco repeticiones en cada una de las parcelas.

4.6.2.1. Bolbens: influencia de algunas especies vegetales en la regeneración del suelo

En el caso de Bolbens, se eligieron cinco parcelas a lo largo de la ladera estudiada siguiendo un transecto entre la parte alta y baja de la vertiente. Además, en la parte media se eligieron siete parcelas dedicadas cada una de ellas a una especie vegetal, con el fin de conocer cómo afecta a la producción de escorrentía su regeneración. Concretamente, en cada parcela la especie mayoritaria es: BO05 (*Juniperus oxycedrus*), BO06 (*Erica multiflora*), BO07 (*Ulex parviflorus*), BO08 (*Pinus halepensis*), BO09 (*Chamaerops humilis*), BO10 (*Brachypodium retusum*), BO11 (*Quercus coccifera*). Cuando se inició el estudio, seis meses después del incendio, la regeneración vegetal era un hecho, con una importante recuperación de las herbáceas que demuestran la dinamicidad de los ecosistemas quemados (ver fotografías 3.46, 3.47 y 3.48, treinta meses después del incendio). Esto nos indica que en algunas superficies la revegetación fue muy importante en los meses otoñales, favorecida sin duda por las abundantes precipitaciones, y basada

esencialmente en *Brachypodium retusum* y otras herbáceas, así como en pequeños rebrotes: *Asparagus acutifolius*, *Pistacia lentiscus* y *Quercus coccifera*, aunque fueron las primeras, las realmente importantes en la recolonización vegetal.

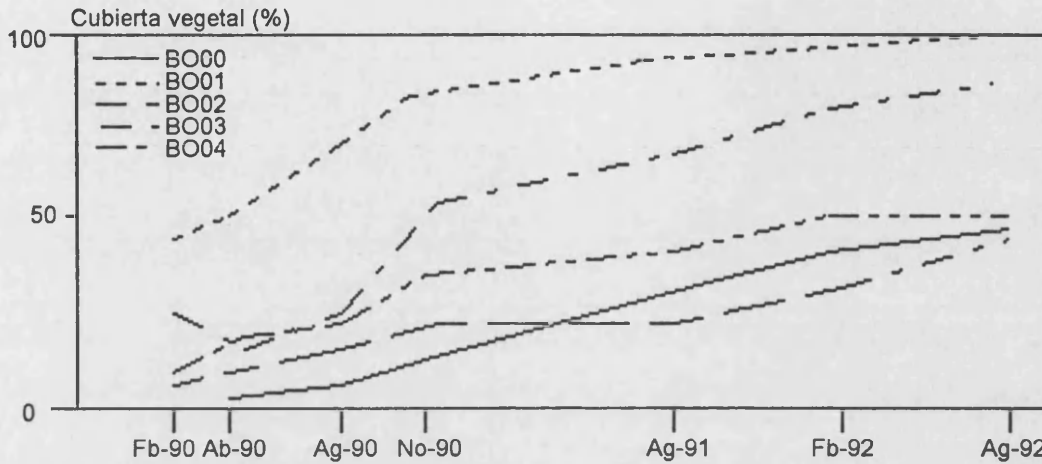


Figura 4.25. Evolución de la cubierta vegetal en Bolbens desde febrero de 1990 (Fb-90) a agosto de 1992 (Ag-92). Parcelas del transecto, de BO00 a BO04

Esta rápida regeneración vegetal inicial se ha mantenido durante los últimos tres años, con tan sólo pequeños retrocesos o ralentizaciones estivales por el agostamiento de las herbáceas. El pastoreo también provocó la destrucción en algunos otoños y primaveras de parte de la vegetación, pero en los resultados es difícil de distinguir estos casos porque este fenómeno se producía cuando había una importante revitalización de la vegetación, lo que hace que, a veces, coincida con aumentos de la cubierta vegetal. Además de un aumento constante en la cobertura vegetal (ver figura 4.20) se ha producido también un importante aumento en la altura de la vegetación, y de la biomasa en general.

La regeneración vegetal ha supuesto que después de tres años y exceptuando superficies muy determinadas: zonas de paso, pérdida del horizonte orgánico, etc. todos los suelos alcancen cubiertas vegetales por encima del 50 % y en algunos casos como las vaguadas y zonas cóncavas, se llega a superar el 80 %. Una situación especial en la recolonización vegetal es que las superficies que tuvieron antes del incendio cubiertas vegetales dominadas por matorrales que no rebrotan (*Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Cistus monpelienis*, etc.) y que tienen cubiertas importantes de piedras (enlosados), tras el incendio tienen dificultades en la recolonización, porque las herbáceas sólo pueden crecer en los intersticios del enlosado. Este es el caso de la parcela BO06, con muy baja revegetación, o BO08, que sólo en el último año con el desarrollo de nuevas matas de *Thymus vulgaris* ha aumentado su cubierta vegetal hasta más allá del 40 %.

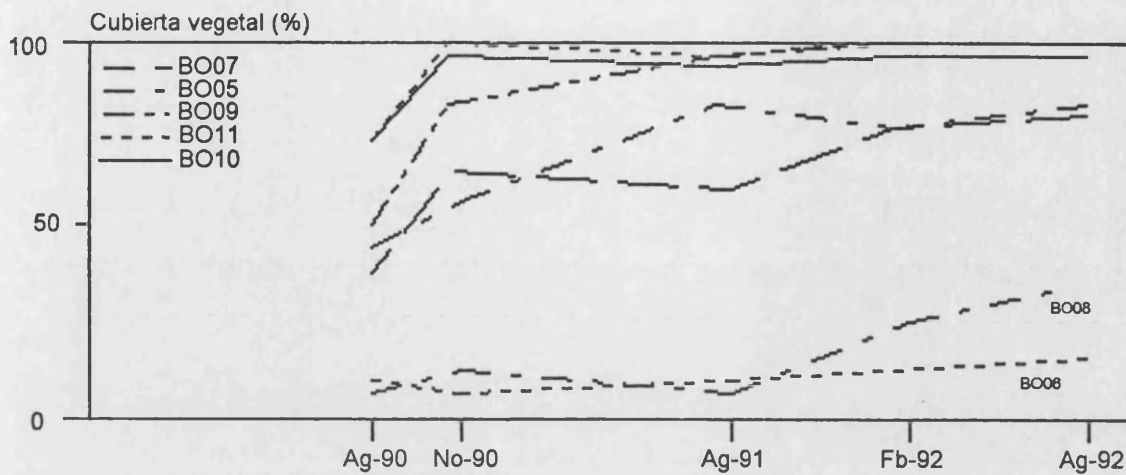


Figura 4.26. Evolución de la cubierta vegetal en Bolbens de agosto de 1990 (Ag-90) a agosto de 1992 (Ag-92). Parcelas específicas según la especie vegetal predominante: BO05 (*Juniperus oxycedrus*), BO006 (*Erica multiflora*), BO07 (*Ulex parviflorus*), BO08 (*Pinus halepensis*), BO09 (*Chamaerops humilis*), BO10 (*Brachypodium retusum*) y BO11 (*Quercus coccifera*)

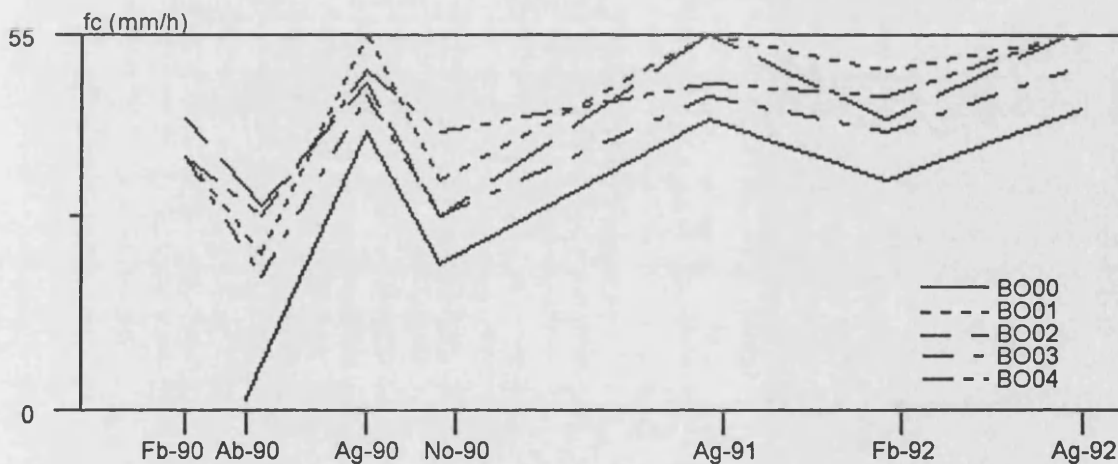


Figura 4.27. Evolución de f_c tras el incendio, desde febrero de 1990 (Fb-90) a agosto de 1992 (Ag-92). Parcelas del transecto, de BO00 a BO04. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

La producción de escorrentía ha estado determinada por unos patrones temporales muy distintos entre veranos e inviernos. En las épocas húmedas, las escorrentías se producían en superficie rápidamente, incluso entre el primer y segundo minuto para las parcelas más degradadas, produciéndose el encharcamiento incluso antes del primer minuto. En la situación estival, el

comportamiento era diferente, porque t_p se iniciaba en los casos más rápidos entre el minuto 3-5, y en los más retrasados cerca del minuto 20, o no se producía nunca. Esto provocaba retrasos muy importantes en la escorrentía que se corresponden además con valores de f_c muy altos.

El crecimiento de la cubierta vegetal es el claro determinante del aumento del volumen de agua infiltrado en el suelo. Los valores de f_c tienen un progresivo aumento en el tiempo, desde valores que oscilan entre 25-35 mm h^{-1} en el invierno posterior al incendio, hasta valores que superan los 50 mm h^{-1} en el invierno de 1992. Las diferencias entre el primer y tercer verano después del incendio son menores que en sus respectivos periodos húmedos, ya que en el primer verano, la recuperación fue lo suficientemente importante para encontrar suelos que no producían escorrentía.

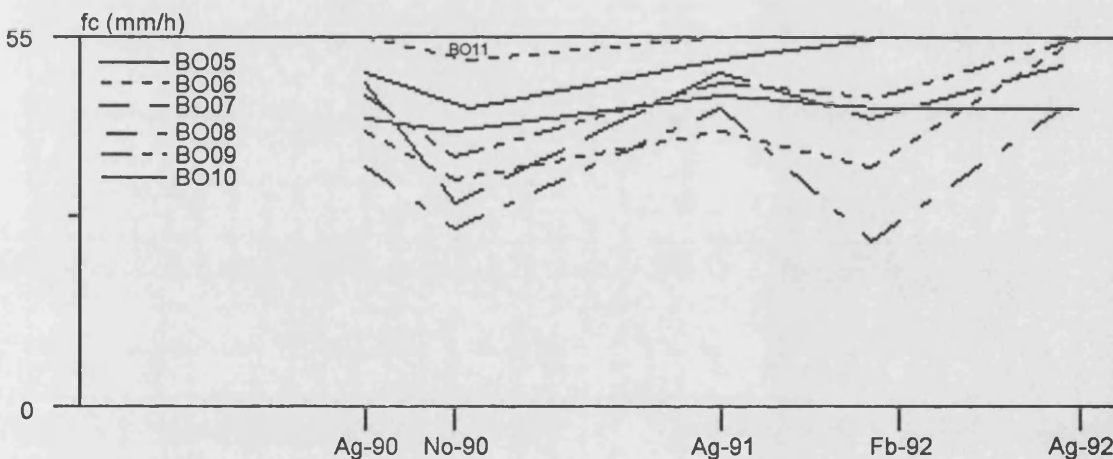


Figura 4.28. Evolución de la tasas de evolución final estable (f_c) tras el incendio. Parcelas especiales. BO05 (*Juniperus oxycedrus*), BO06 (*Erica multiflora*), BO07 (*Ulex parviflorus*), BO08 (*Pinus halepensis*), BO09 (*Chamaerops humilis*), BO10 (*Brachypodium retusum*) y BO11 (*Quercus coccifera*). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

El comportamiento de la infiltración determina la **concentración de sedimentos** de la escorrentía, ya que durante los periodos estivales, cuando los f_c son mayores los valores de c_s son menores. Esto ocurre en situaciones normales, aunque es de destacar que hay situaciones anormales, generalmente introducidas por el hombre, que suponen un aumento de la concentración de sedimentos de la escorrentía. Este es el caso del periodo de noviembre de 1990, cuando el pastoreo alteró la superficie de algunas parcelas del transecto (BO01, BO02, BO03) y otras de las denominadas especiales (BO11 y BO05).

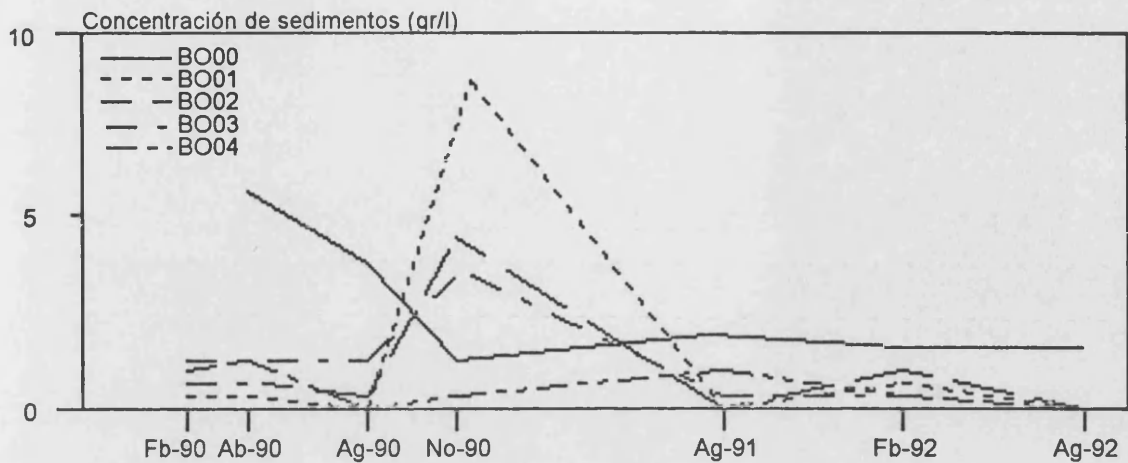


Figura 4.29. Evolución de la concentración de sedimentos (cs) en Bolbens, desde febrero de 1990 (Fb-90) a agosto de 1992 (Ag-92). Parcelas del transecto, de BO00 a BO04. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

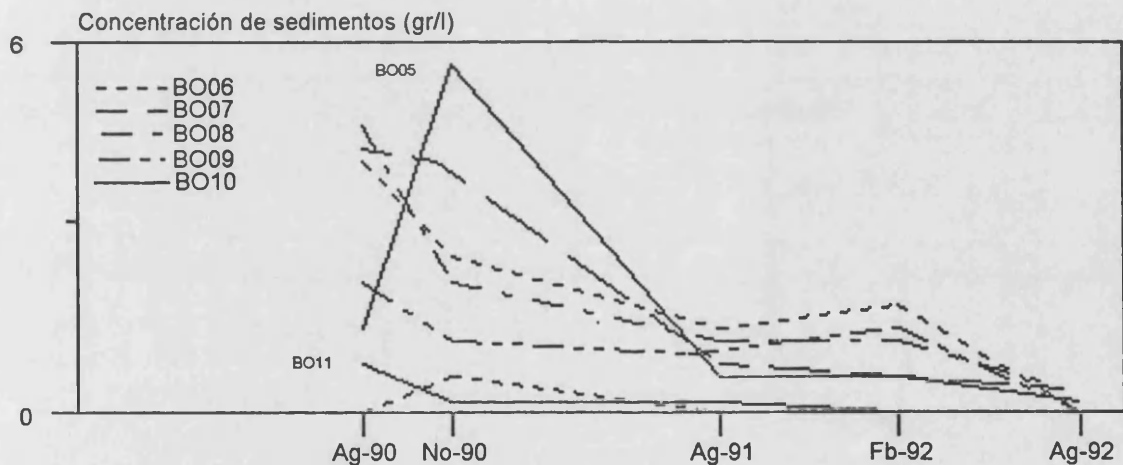


Figura 4.30. Evolución de la concentración de sedimentos en Bolbens. Parcelas especiales. BO05 (*Juniperus oxycedrus*), BO06 (*Erica multiflora*), BO07 (*Ulex parviflorus*), BO08 (*Pinus halepensis*), BO09 (*Chamaerops humilis*), BO10 (*Brachypodium retusum*) y BO11 (*Quercus coccifera*). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

En general, con excepción de estas alteraciones antrópicas, nos encontramos ante una reducción constante de la erodibilidad de los suelos, sin duda debido al aumento de la cubierta vegetal. También otra tendencia es que la estabilización que se produce durante los dos últimos periodos estivales en el nivel de sedimentos de la

escorrentía se puede considerar como normal, si lo comparamos con los datos de la ladera norte de Genovés, siendo las alternancias verano-invierno similares. Es de destacar que el número de superficies totalmente estabilizadas, sin escorrentía o con altos niveles de infiltración es más alta en una ladera totalmente revegetada como la de Genovés, tras doce años desde el último incendio. En Bolbens, tras tres años transcurridos desde el incendio, la ladera estudiada puede ser considerada como un sistema hidrogeomorfológico estable.

En la parcela especial BO05, vegetada con *Juniperus oxycedrus*, a pesar del rápido crecimiento por ser rebrote, la pérdida de suelo fue muy alta en las primeras mediciones, lo que se debe a alteraciones del suelo por el pastoreo. La estructura aérea de *Juniperus oxycedrus*, sólo favorece a partir de una determinada densidad de vegetación un aumento de la precipitación interceptada, lo que reduce la posibilidad de infiltración del suelo. Esto explica menores tasas de infiltración para BO05 en el invierno de 1992 que en 1991, si bien en verano la mayor capacidad de infiltración del suelo difumina este efecto.

Tanto en la parcela BO05 (*Juniperus oxycedrus*), como en la BO08 (*Pinus halepensis*) el crecimiento de ambos en la primavera de 1992 ha favorecido que el volumen de la escorrentía cortical sea mayor, lo que ha impedido una mejora substancial de la infiltrabilidad de estos suelos.

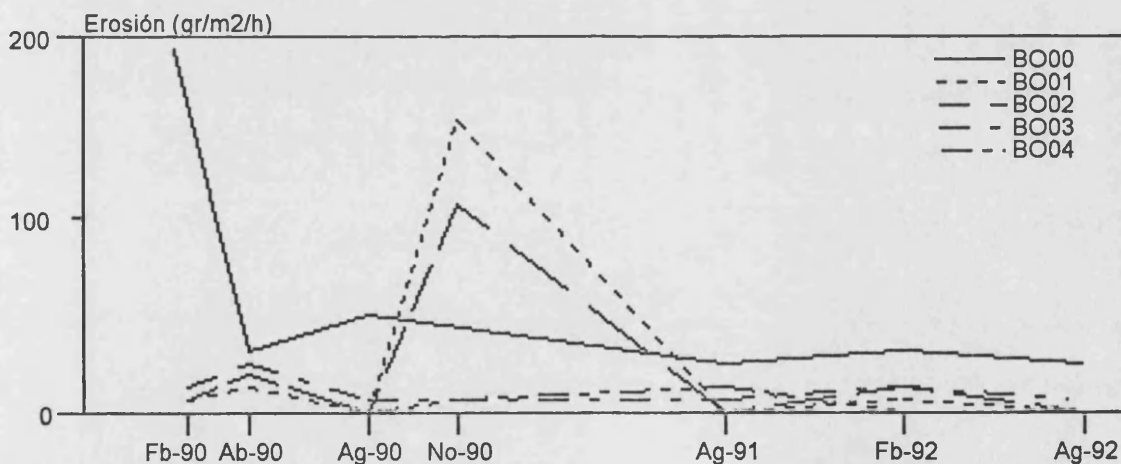


Figura 4.31. Evolución de la erosión en Bolbens, desde febrero de 1990 (Fb-90) a agosto de 1992 (Ag-92). Parcelas del transecto, de BO00 a BO04. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

La evolución de la erosión reproduce las tendencias de la concentración de sedimentos, que recordemos dependían del comportamiento de la capacidad de infiltración de los suelos. Por ello, siguen siendo las mismas parcelas las que presentan tasas de erosión mayores, afectando a todas el proceso por el que se produce una reducción de la pérdida de suelo con el paso de los años.

Por lo que respecta a los parámetros definitorios de la pérdida de suelo, presentan un comportamiento muy claro, aunque pequeñas alteraciones del suelo han supuesto modificaciones de la tendencia general. El descenso progresivo de la **concentración de sedimentos** con el paso de los años es evidente (figuras 4.29 y 4.30), como también lo son los ligeros aumentos invernales debido a los mayores caudales de la escorrentía. Los experimentos de agosto de 1990 tuvieron comparativamente una mayor erosión en las parcelas especiales, que en las colocadas en el transecto (excepto BO00). Este puede que sea el comportamiento normal, ya que las parcelas del transecto, fueron muy afectadas por el pastoreo otoñal y pueden tener afectada por ello la evolución posterior. Esto significaría que la clásica alternancia entre la concentración de sedimentos entre verano y periodos húmedos en las zonas incendiadas sería sustituida en el primer año por un descenso continuado hasta alcanzar la estabilidad e iniciarse otro modelo de alternancias verano-periodos húmedos.

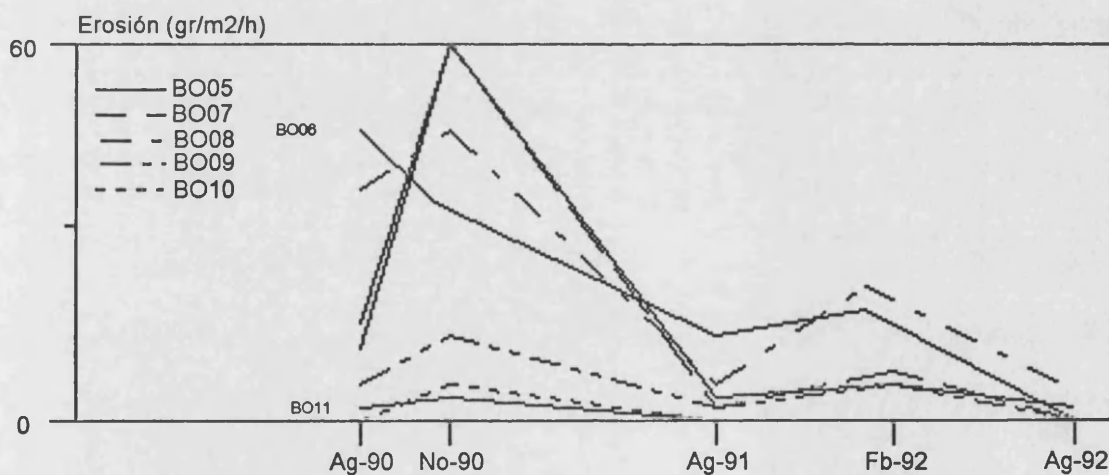


Figura 4.32. Evolución de la tasa erosión, parcelas especiales. BO05 (*Juniperus oxycedrus*), BO006 (*Erica multiflora*), BO07 (*Ulex parviflorus*), BO08 (*Pinus halepensis*), BO09 (*Chamaerops humilis*), BO10 (*Brachypodium retusum*) y BO11 (*Quercus coccifera*). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Bolbens (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados el 1 de agosto de 1989)

La pérdida de suelo es un compendio de las altas tasa de infiltración y reducidas concentraciones de sedimentos veraniegas y las situaciones excepcionales

motivadas por el pastoreo. A esto, hay que unir una tendencia a la reducción de la erosión con el paso del tiempo desde el incendio, debido a la regeneración de la vegetación, pero enmascarada por las alternancias estacionales de los procesos hidrológicos y erosivos.

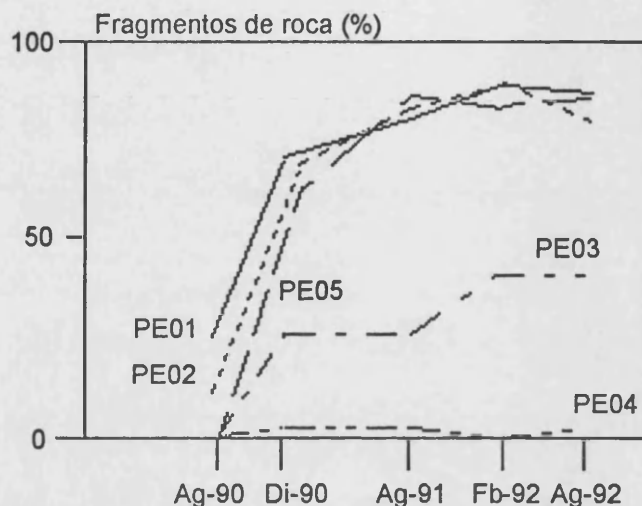


Figura 4.33. Evolución de la cubierta de fragmentos de roca en Pedralba tras el incendio. Periodo comprendido entre agosto de 1990 (Ag-90) y agosto de 1992 (Ag-92)

4.6.2.2. Pedralba: respuesta hidrológico-erosiva tras el incendio

En el caso de **Pedralba**, el estudio realizado tiene un gran interés debido a que éste se inició inmediatamente después del incendio. El muestreo repetitivo a lo largo de tres años nos muestra que las superficies de los suelos han pasado de estar dominadas por las cenizas en un 100 %, a ser controlada en unas ocasiones por la pedregosidad y en otras por la cubierta vegetal. Ver la fotografías 3.50, 3.51, 3.52 y 3.53 para la evolución sufrida por las superficies incendiadas.

La disposición de las parcelas a lo largo de un transecto ha favorecido el estudio de superficies con distinto comportamiento. Las partes bajas de la ladera han tenido un rápido aumento de la vegetación, quedando la pedregosidad en segundo término. Esta evolución se debe a que en las partes bajas se ha acumulado con mayor facilidad la humedad, y a que el contenido en fragmentos de roca en los suelos previamente al incendio también eran menores. Las partes alta y media de la ladera, y la parte baja de la ladera oeste, alterada por la acción antrópica, se han caracterizado por el desarrollo de cubiertas superficiales con una importante pedregosidad (100 %) y por una cubierta vegetal reducida. En este caso se repite la

situación encontrada en Bolbens de que son las superficies más pedregosas las que tienen un menor recolonización vegetal en los primeros años del post-incendio.

Además de esta diferencia topográfica, alterada por la acción antrópica, otra diferencia muy destacable es la persistencia, y en muchas ocasiones acumulación de cenizas en las partes bajas, las cuales favorecen, como veremos en el próximo capítulo, la protección del suelo y la infiltración de la precipitación, al aumentar la rugosidad del suelo, en los primeros días del post-incendio.

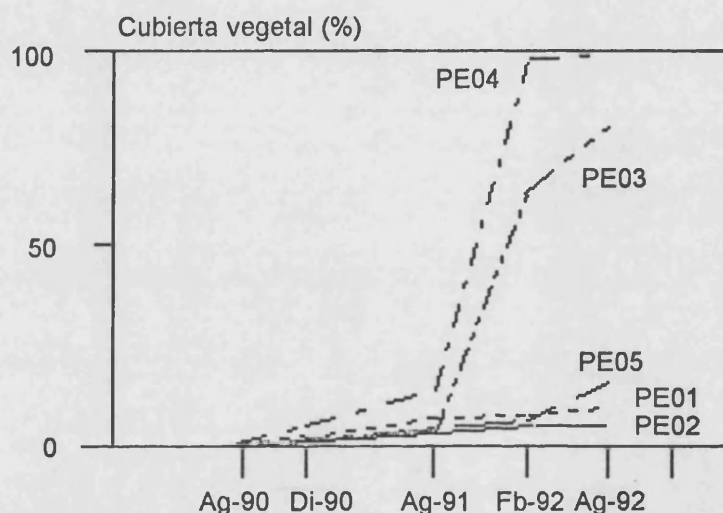


Figura 4.34. Evolución de la cubierta vegetal en Pedralba tras el incendio. Periodo comprendido entre el día del incendio, 4 de agosto de 1990 (Ag-90) y agosto de 1992 (Ag-92)

Estas diferencias superficiales no han supuesto comportamientos hidrológicos diferentes entre los suelos, ya que en todos los casos (figura 4.35) nos encontramos con comportamientos similares. Tan sólo PE04 se muestra con una mayor capacidad de infiltración, pero se debe esencialmente a su situación en un campo de cultivo con pendiente nula, donde se acumularon muchas cenizas tras el incendio.

Hay que destacar que las típicas fluctuaciones de *fc* del periodo húmedo al periodo seco, también se producen aquí, siendo las diferencias mayores a una zona no incendiada, como ya destacamos al comparar Genovés con Bolbens. Hay un claro aumento de *fc* con el paso de los años, como se puede comprobar al comparar diciembre de 1990 con febrero de 1992, o bien agosto de 1991 y 1992, con contenidos de humedad del suelo similares. Esta recuperación de la capacidad de infiltración de los suelos llega a su máximo en agosto de 1992, cuando la escorrentía fue insignificante.

Además de esta evolución positiva de la infiltración, hay que destacar que ésta lo es para todas las superficies, lo que nos lleva a pensar que la pedregosidad en las parcelas de la parte media alta de la ladera ejercen un papel protector del suelo, como luego se confirmará en los aspectos erosivos, a la vez que favorece la infiltración, como ocurre con la vegetación.

Los suelos calcáreos, como vimos en Genovés, tienen una alta infiltrabilidad, por lo cual la precipitación utilizada fue ligeramente superior (60 mm h^{-1}), a pesar de lo cual los suelos, un día después del incendio, seguían teniendo tan alta infiltrabilidad que el volumen de escorrentía fue muy reducido, insignificante.

Tan sólo dos de las cinco parcelas, PE05 y PE02, produjeron escorrentía, siendo en las tres restantes infiltrada totalmente la precipitación.

La evolución de fc después del incendio está marcada esencialmente por las cenizas, y de forma secundaria, por la aparición de fragmentos de roca y la regeneración de la vegetación. Después del incendio, la superficie de los suelos aparecía cubierta de cenizas, generalmente 2-3 cm, aunque en algunos puntos como el fondo del valle llega hasta 5-6 cm. La ceniza tenía una textura grosera, y al no haber sufrido ningún proceso posterior su porosidad era muy alta. Esta esponjosidad de la ceniza facilitaba la infiltración del agua, tanto por la protección de la superficie, como por su elevada capacidad de almacenamiento.

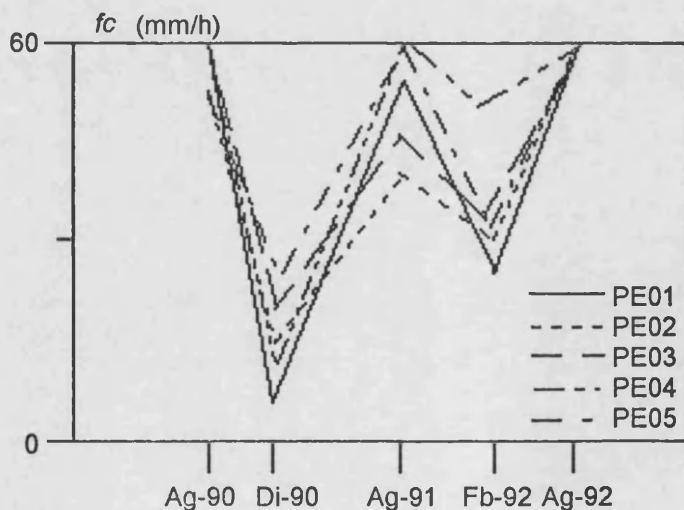


Figura 4.35. Evolución de la infiltración final estable (fc) en Pedralba tras el incendio. Periodo comprendido entre agosto de 1990 (Ag-90) y agosto de 1992 (Ag-92). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (60 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Pedralba. Suelos sobre conglomerados calcáreos, los cuales sufrieron un incendio el 3 de agosto de 1989

Las altas tasas de infiltración encontradas tras el incendio fueron seguidas por un decrecimiento muy importante de éstas tras las lluvias otoñales. En diciembre, cuatro meses y medio después del incendio, y con el suelo muy húmedo por las abundantes lluvias otoñales, las cenizas todavía eran importantes, pero estaban compactadas, siendo su altura inferior a 5 mm en todos los suelos excepto en el fondo del valle, donde se acumularon hasta 10 cm de cenizas sedimentadas, con una porosidad mucho menor a las cenizas originales. La cubierta vegetal aún era muy reducida, como consecuencia del poco tiempo transcurrido en el primer caso, en cambio la cubierta de fragmentos de roca era ya abundante, pues al reducirse el espesor de las cenizas, habían hecho aparición éstas.

Estas características de las superficies explican tasas de infiltración final muy bajas, todas ellas inferiores a 30 mm h^{-1} , en diciembre de 1991, 140 días después del incendio.

La situación de agosto de 1991, un año después del incendio, se caracterizó por una baja cubierta vegetal, pero una abundante pedregosidad de las superficies, aumentando el valor de f_c para todos los casos, pero nunca alcanzando los valores del día después del incendio. Este mismo ciclo se repitió en el verano e invierno de 1992, pero con una tendencia hacia el aumento constante de f_c , que propiciaría en la última medición la no aparición de escorrentía (figura 4.35).

Este comportamiento sólo tiene una excepción puntual en el caso de la parcela PE05. En esta parcela, en diciembre de 1990 se encontraron alteraciones superficiales provenientes del paso de cazadores o simples caminantes (poco factible por lo remoto del área). Esto supuso paradójicamente un aumento de f_c y de todos los parámetros de infiltración, como consecuencia de la rotura de la costra formada por las precipitaciones otoñales, especialmente por las cenizas. Esta alteración supuso que este suelo tuviese un valor de f_c superior al esperado en unos 15 mm h^{-1} .

Este efecto positivo para la infiltración de la rotura de la costra superficial, fue en cambio el origen de las concentraciones de sedimentos mayores en la zona, y junto a ello las mayores tasas de erosión.

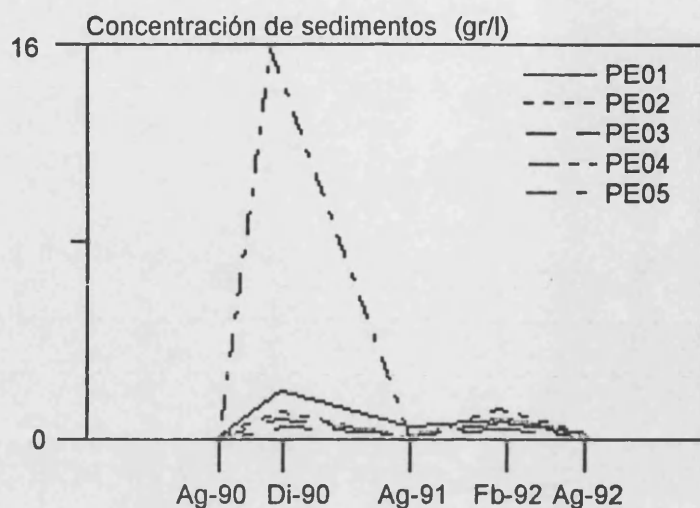


Figura 4.30. Evolución de la concentración de sedimentos en Pedralba tras el incendio. Periodo comprendido entre agosto de 1990 (Ag-90) y agosto de 1992 (Ag-92). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (60 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Pedralba. Suelos sobre conglomerados calcáreos, lo cuales sufrieron un incendio el 3 de agosto de 1989

En la figura 4.30 se puede observar como la concentración de sedimentos tiene una marcada alternancia entre periodos húmedos y periodo secos. Tras el incendio, la alta capacidad de infiltración favoreció que la concentración de sedimentos fuera nula, ya que no se produjo escorrentía, pero pensamos que la alta erosionabilidad de la cubierta de cenizas, con intensidades de precipitación elevadas, las cuales hubieran superado la capacidad de infiltración de estos suelos, habrían provocado concentraciones de sedimentos mayores.

Como se puede observar en la figura 4.3, la concentración de sedimentos en la escorrentía tras los incendios no es demasiado alta, entre 0 g l^{-1} y 3 g l^{-1} en el primer invierno, existiendo una clara tendencia hacia el descenso de la concentración de sedimentos de la escorrentía con el paso del tiempo, aunque acompañado de un ciclo de máximas en los periodos de mayor humedad y mínimas en los veranos.

Este comportamiento de la concentración de sedimentos se repite en el caso de la erosión, en el que se vuelven a destacar las alternancias estacionales, la tendencia a la reducción con el tiempo, la nula erosión inmediatamente después del incendio, la máxima exportación de sedimentos tras o durante las lluvias otoñales, y la gran influencia de la acción antrópica con el aumento de las tasas de erosión. Es de destacar que si el incendio incentiva la pérdida de suelos, la influencia antrópica lo hace en una magnitud mucho mayor.

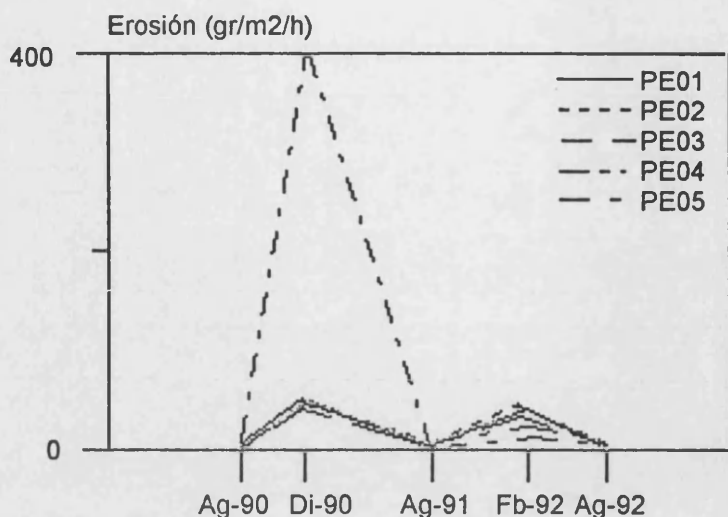


Figura 4.31. Evolución de la tasa de erosión en Pedralba tras el incendio. Periodo comprendido entre agosto de 1990 (Ag-90) y agosto de 1992 (Ag-92). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (60 mm h^{-1}) sobre parcelas fijas en Pedralba. Suelos sobre conglomerados calcáreos, los cuales habían sufrido un incendio el 3 de agosto de 1989)

4.6.3. Alteraciones antrópicas tras el incendio. Consecuencia hidrológico-erosiva de los cortafuegos

Además de la alteración del funcionamiento de los ecosistemas, la existencia de grandes pérdidas económicas, como consecuencia de los incendios forestales ha provocado la aparición de obras de infraestructura, generalmente caminos, que pueden favorecer la reducción de la superficie afectada por medio de una mayor rapidez en la llegada de efectivos destinados a apagar incendios. Estas obras de infraestructura, en algunos casos, han favorecido la provocación de fuegos no controlados de forma directa o indirecta (visitantes esporádicos, restos inflamables, pirómanos, mayor especulación sobre terrenos de posible ubicación de segundas residencias, etc.). Además, este tipo de obras de infraestructura suponen un grave deterioro del medio natural, así como la reducción de la infiltrabilidad general de los suelos de la cuenca, ya que la infiltración se puede considerar insignificante para los caminos debido a la fuerte compactación de la superficie, además de producirse una alteración de los flujos subsuperficiales por las modificaciones del perfil general de las laderas y la cubierta edáfica. Otra medida destinada a reducir las superficies incendiadas son los Cortafuegos, los cuales es de suponer que reducen la capacidad de infiltración, pues suponen la eliminación de la vegetación, y el tránsito de hombres y máquinas provocará una fuerte compactación, lo que sin duda facilitará la erosión del suelo. Concretamente, si bien en la ladera norte se dan por válidos los anteriores presupuestos, en la ladera sur, donde el encostramiento y degradación

superficial es más importante, el comportamiento después de la construcción del cortafuegos era considerado por nuestra parte como una incógnita.

Se aprovechó, para este estudio particular, la realización de un cortafuegos a lo largo de las dos laderas estudiadas en Genovés, coincidiendo en algunos casos incluso la posición de la parcela destruida previamente a la construcción del cortafuegos. Los resultados de los experimentos se presentan en la figura 4.37, en la cual a la derecha aparecen los experimentos sobre suelos naturales (de la parte alta a la parte baja) y a la izquierda los resultados obtenidos sobre las superficies deforestadas para la realización del cortafuegos.

El proceso de construcción del cortafuegos consistió en la tala de todos los matorrales, o bien arranque de los de menor porte, y su quema en la parte central del espacio deforestado, el cual tenía una amplitud de unos 30 m. No se utilizó maquinaria pesada, siendo todo el trabajo realizado a mano. En toda la ladera se observó una importante alteración de la costra superficial, y en la parte media-baja y especialmente en el fondo de valle (campos de cultivo) una mayor compactación del suelo, como consecuencia del continuo paso del personal laboral para acceder a las partes más altas de la cuenca.

Los experimentos sobre los suelos del cortafuegos dieron lugar a *hidrogramas* muy distintos a los de los suelos naturales (figura 4.37 y tabla 4.18), no respondiendo siempre de la misma forma. En las parcelas correspondientes a la **parte alta y media**, los suelos naturales tienen una *capacidad de infiltración* menor que los del contrafuegos, a pesar de la menor cubierta vegetal y el mayor encostramiento. El aumento del valor del parámetro f_c , la reducción muy significativa de E_{sm} y C_e en el cortafuegos, el retraso de que t_o , t_p y t_e , nos indica que la rotura de la costra, junto al aumento de la rugosidad por esta misma razón, han favorecido la reducción de la pérdidas de agua por escorrentía en estos suelos. Los dos suelos de la **parte baja y los campos de cultivos**, al contrario que en la parte alta, han visto reducido sus valores de infiltrabilidad, siendo mayor esta reducción en los campos abandonados, lo cual sin duda se debió a la mayor alteración del suelo por la compactación.

Respecto a la **pérdida de suelo**, es de destacar que la construcción del cortafuegos ha supuesto un claro aumento de la concentración de sedimentos de la escorrentía en al menos 7 u 8 veces en tres de las parcelas y infinitamente en la parcela de la parte media de la ladera. Esto ha supuesto un aumento de las tasas de erosión en todas las parcelas, excepto en la parte media de la ladera, donde el elevado aumento de la infiltrabilidad de los suelos con la rotura de la costra superficial ha favorecido una menor exportación de sedimentos a pesar de la alta concentración de éstos.

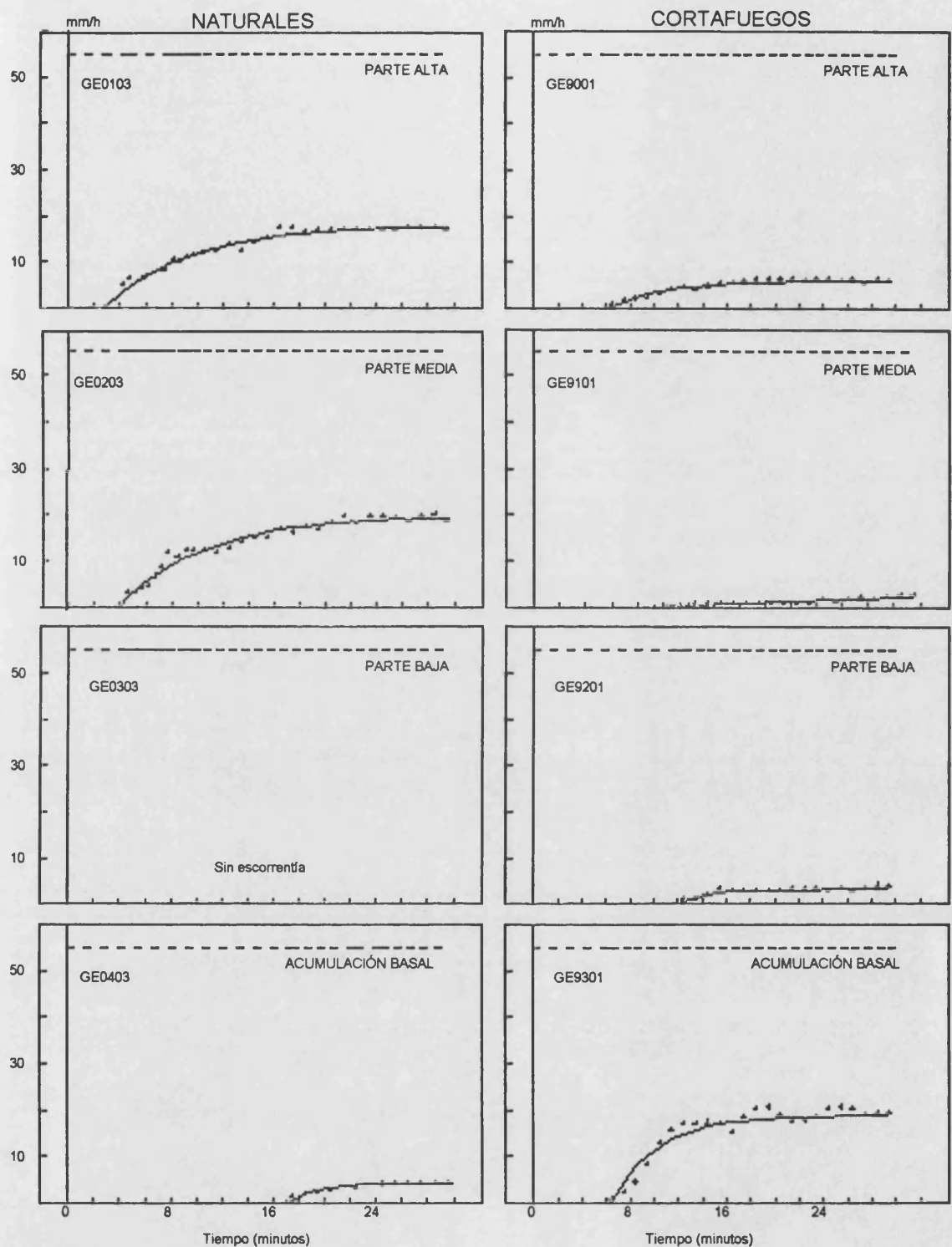


Figura 4.37. Hidrogramas de los suelos de un cortafuegos recién construido y sus correspondientes naturales en la ladera sur de Genovés. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1} , durante 30 minutos) sobre parcelas fijas en agosto de 1991 en Genovés (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados en 1981)

La tendencia temporal de cs ha sido en todos los casos negativa, excepto en GE9201, donde la rotura de la costra ha propiciado el abastecimiento de la

escorrentía con suficientes sedimentos para que ésta fuera positiva, es decir, que la concentración de sedimentos dependiese de la erosionabilidad del caudal más que de los sedimentos disponibles de ser movilizados. Es de destacar que la tendencia de *cs* es mayor en magnitud cuando el suelo está degradado como es el caso de los suelos del cortafuegos, aunque ésta puede ser en algunos casos positiva, como ya explicamos en el apartado dedicado a los suelos calcáreos (apartado 4.4).

SUELOS	PARTE	Esm	Ce	fc	cs	er	ts
	LADERA	mm h⁻¹		mm h⁻¹	g l⁻¹	g m⁻² h⁻¹	
Naturales	<i>Alta</i>	12,41	0,23	36,88	0,70	8,63	-0,04
	<i>Media</i>	12,85	0,23	35,07	0,78	10,04	0,00
	<i>Baja fondo</i>	0,00	0,00	55,00	0,00	0,00	
Cortafuegos	<i>fondo</i>	4,31	0,08	49,61	0,47	2,04	-0,01
	<i>Alta</i>	3,94	0,07	48,93	7,58	29,83	-0,13
	<i>Media</i>	0,78	0,01	53,00	8,75	6,82	-0,47
	<i>Baja fondo</i>	1,69	0,03	51,87	8,61	14,56	0,21
		12,40	0,23	36,22	3,59	44,54	-0,06

Tabla 4.18. Respuesta hidrológica y erosiva de la ladera sur en verano. Comparación entre los suelos naturales y los alterados por el cortafuegos. Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹, durante 30 minutos) sobre parcelas fijas en agosto de 1991 en Genovés (suelos sobre Calizas del Campaniense incendiados en 1981).

* * *

El estudio de tres zonas afectadas por incendios: Genovés, Bolbens y Pedralba, pero con periodos de recuperación desde el último fuego distintos, nos ha permitido esclarecer algunos efectos de los incendios forestales sobre la hidrología y erosión de los suelos.

En primer lugar, al comparar la hidrología de los suelos de Bolbens y Genovés, se comprueba como es especialmente durante los periodos húmedos, cuando los suelos recién incendiados tienen una muy clara menor capacidad de infiltración, lo que nos confirma los resultados de investigaciones previas (CERDÀ y CALVO, 1991). La pérdida de suelos es mucho mayor en los suelos incendiados, Bolbens, y en comparación con la respuesta hidrológica estas diferencias son mucho más evidentes, aunque como aquella es el periodo húmedo durante el cual son más claras.

Tanto en Bolbens y Pedralba, donde se ha seguido la evolución post-incendio, como en Genovés, la recuperación vegetal es muy rápida, siendo las cenizas

superficiales y posteriormente la pedregosidad, junto a la vegetación los factores más importantes en el control de la hidrología de los suelos.

Los suelos inmediatamente después del incendio tienen altas tasas de infiltración debido a las cenizas y a la extrema sequedad del suelo. Después la erosión de éstas y el encostramiento, proceso posiblemente muy rápido tras las primeras lluvias, junto al aumento de la humedad en otoño, se produce una reducción drástica de la infiltrabilidad en los primeros meses después del incendio. Este comportamiento ha sido detectado tras las erupciones volcánicas, y en todos los casos las cenizas funcionan en un primer momento como un factor positivo (LEAVESLEY *et al.*, 1989).

El proceso de regeneración del suelo es muy efectivo, ya que entre dos y tres años se reduce la escorrentía a valores insignificantes, y la erosionabilidad a valores muy cercanos a los de la situación climax (Genovés), la cual en nuestro caso está ejemplificada en Genovés.

Esta rápida regeneración de la infiltrabilidad, hace que las diferencias sean más marcadas en los periodos húmedos en los cuales f_c es menor. Puntualmente se ha demostrado que algunas especies favorecen la infiltración por sus características y por su rápida regeneración. *Quercus Coccifera* y *Brachypodium retusum*, serían las de efectos más positivos, mientras que *Erica multiflora* y *Ulex parviflorus* tendrían un efecto menos positivos sobre la infiltrabilidad de los suelos, como también ha sucedido con *Pinus halepensis* y *Juniperus oxycedrus* por la influencia de la escorrentía cortical concentrada con la reducción de la recuperación de las tasas de infiltración.

Los cortafuegos, aunque en general reducen la infiltrabilidad del suelo, en las laderas encostradas, inmediatamente después de la construcción, se ha descubierto que la rotura de las costras favorece el aumento del volumen de agua infiltrado, aunque en las partes bajas de las laderas, la compactación del suelo ha favorecido la absorción del agua. En todos los casos, la pérdida de suelos ha aumentado.

4.7. Frente de humectación: variaciones y tipologías

Como explicamos en la metodología, tras la ejecución de los experimentos con lluvia simulada se realiza una descripción del perfil del suelo sobre el que se había realizado la prueba, con el fin de describir y caracterizar la morfología, profundidad y características del frente de humectación en distintos suelos tipo, ya que este es un fiel reflejo del agua infiltrada. De los apuntes, gráficos y dibujos realizados al

respecto, se presenta un resumen, tanto para los suelos de las terrazas abandonadas en la Vall de Gallinera, como para los suelos naturales sobre distintas litologías.

4.7.1. Suelos de laderas naturales en distintas litologías y cubiertas vegetales.

Uno de los rasgos que definen la forma en que se produce la infiltración en los suelos es la morfología que adopta el frente de humectación. En la figura 4.36, presentamos información de la morfología que adopta el frente de humedad en nueve suelos característicos de los estudiados en este trabajo. Los perfiles reproducidos en esta figura son de experimentos realizados en verano con una duración de 60 minutos y una lluvia estándar de 55 mm h^{-1} .

Los suelos degradados sobre margas del Senoniense, estudiados en *Petrer y Monnegre*, concretamente los situados en las laderas de los *badland* (PR08) y los muy *pedregosos* (PR01), tienen frentes de humectación que como máximo alcanzan los 40 mm de profundidad, aunque se pueden encontrar zonas en las que el agua penetra sólo 15 mm. Además de la homogeneidad del avance del frente de humedad, hay que destacar su nitidez, ya que en otros suelos el agua infiltrada penetra más en profundidad y alcanza zonas con mayor humedad previa, lo que hace más difícil distinguir el avance del frente. Además, los colores claros de los suelos sobre margas del Senoniense facilitan esta determinación.

Un caso totalmente diferente es el de los suelos sobre areniscas del Bundsanstein. En *Puçol*, el perfil de humedad tipo es profundo, y formado a su vez por dos frentes; uno producido por el flujo a través de la matriz del suelo con profundidades entre 170-250 mm, y otro por debajo de éste a profundidades de hasta 260 mm (parcela PU02). Este segundo frente de humedad está originado en los macroporos que facilitan el flujo de agua desde la superficie hasta zonas más profundas, en las cuales el agua pasa a la matriz del suelo. Los macroporos en este tipo de suelos son generalmente raíces muertas, por ello la forma de estos pequeños frentes de humedad es ovalada o redondeada. En el primer frente de humedad, el de mayor tamaño, hay integrados otros pequeños frentes de morfología circular que han quedado integrados en el primero.

En la zona de *Anna*, arcillas del Keuper, hay dos frente de humedad tipo. En la ladera sur (AN03), el frente de humedad es homogéneo y regular, similar al estudiado en los suelos de las laderas de *badland* en *Petrer*. La diferencia con los frentes de humedad de estos últimos suelos es que la profundidad que alcanzan es mayor, entre 20 y 70 mm. Tanto en los *badland* sobre arcillas del Keuper, como sobre

margas del Senoniense, las grietas previas a la humectación del suelo no han alterado de una forma muy evidente el frente de mojado, si bien las profundidades mayores aparecen bajo estas morfologías.

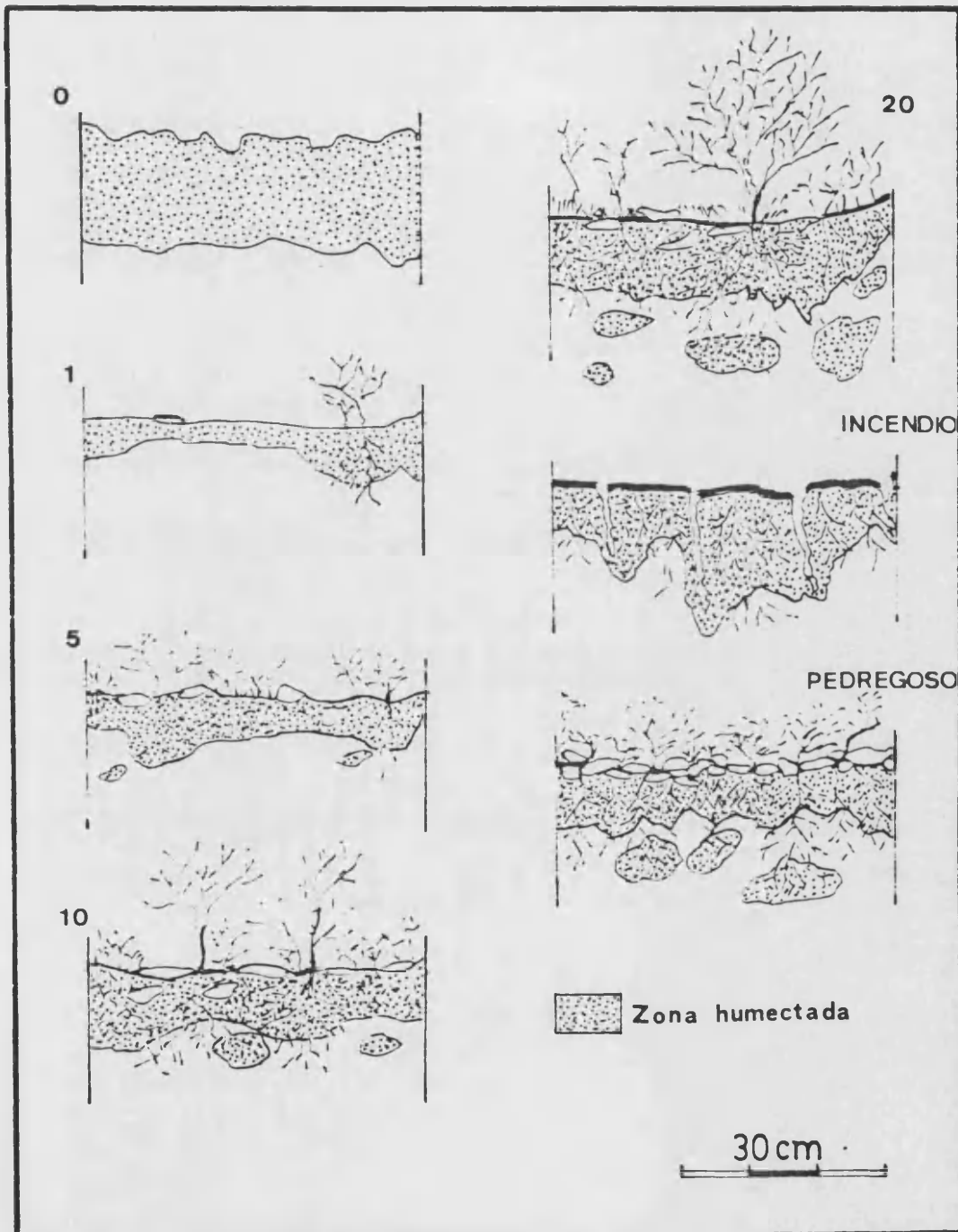


Figura 4.36. Distribución de la humedad en el suelo tras experimentos de una hora de duración y 55 mm h^{-1} de intensidad de lluvia simulada para los suelos más representativas de los distintos ambientes estudiados. El nombre de cada perfil se identifica con una parcela pero los datos son un compendio de todos los experimentos realizados en el medio de la que esta parcela es representativa

En cambio en la ladera norte de la zona de Anna, los suelos presentan frentes de humectación con unas morfologías determinadas totalmente por las grietas. En algunos puntos la penetración del agua alcanza los 210 mm, concretamente bajo las grietas, mientras que en otro sólo alcanza los 40 mm. En realidad, podemos pensar que la superficie del suelo está formada por las grietas y a partir de ellas es como se produce la infiltración. En algunos casos han aparecido frentes de humedad producidos por pequeños macroporos, pero el proceso principal es la infiltración del agua a través de las grietas.

De la zona de **Genovés**, sobre calizas del Campaniense, se presentan cuatro muestras de frente de humectación. La profundidad de los frentes está relacionada con las tasas de infiltración, y su morfología con el uso del suelo. Así, en el perfil del campo de cultivo abandonado (GE04) el frente de humedad es homogéneo, simple y de una profundidad que oscila entre los 40 y 75 mm. En los suelos naturales, nos encontramos con perfiles compuestos: el perfil dominante a través de la matriz del suelo, y los pequeños perfiles producidos a partir del agua infiltrada por macroporos. La profundidad del perfil está determinada por la posición geomorfológica y la exposición, ya que las mayores profundidades se alcanzan en la ladera norte: 90-180 mm para el frente dominante y 130-220 mm en los frentes individuales. En la ladera sur, las profundidades han sido menores: para la parte media de la ladera (GE02) el frente dominante oscila ente 50-80 mm, siendo muy homogéneo y regular, mientras que los frentes menores aparecen incluso a profundidades de 210 mm. En la parte baja de la ladera (GE03), el frente de humedad dominante es menos homogéneo pero más profundo (65-130 mm), siendo la profundidad de los frentes menores idéntica a la de la parte alta de esta misma ladera: 210 mm.

4.7.2. Abandono de cultivos y frente de humectación

Además de cambios en los volúmenes de agua infiltrada y en las tasas de erosión el abandono de campos de cultivo provoca unas modificaciones hidrológicas que alteran las morfologías que adoptan los frentes de humectación en su avance y por ello el modo en el cual se produce el proceso de infiltración. En la figura 4.37 se muestra la reproducción de los distintos perfiles de suelo tras la realización de los experimentos de 60 minutos de duración.

Durante el cultivo (perfil 0) nos encontramos con frentes de humedad muy profundos y homogéneos (150-200 mm), lo que nos muestra que la penetración del agua se produce vía matriz del suelo.

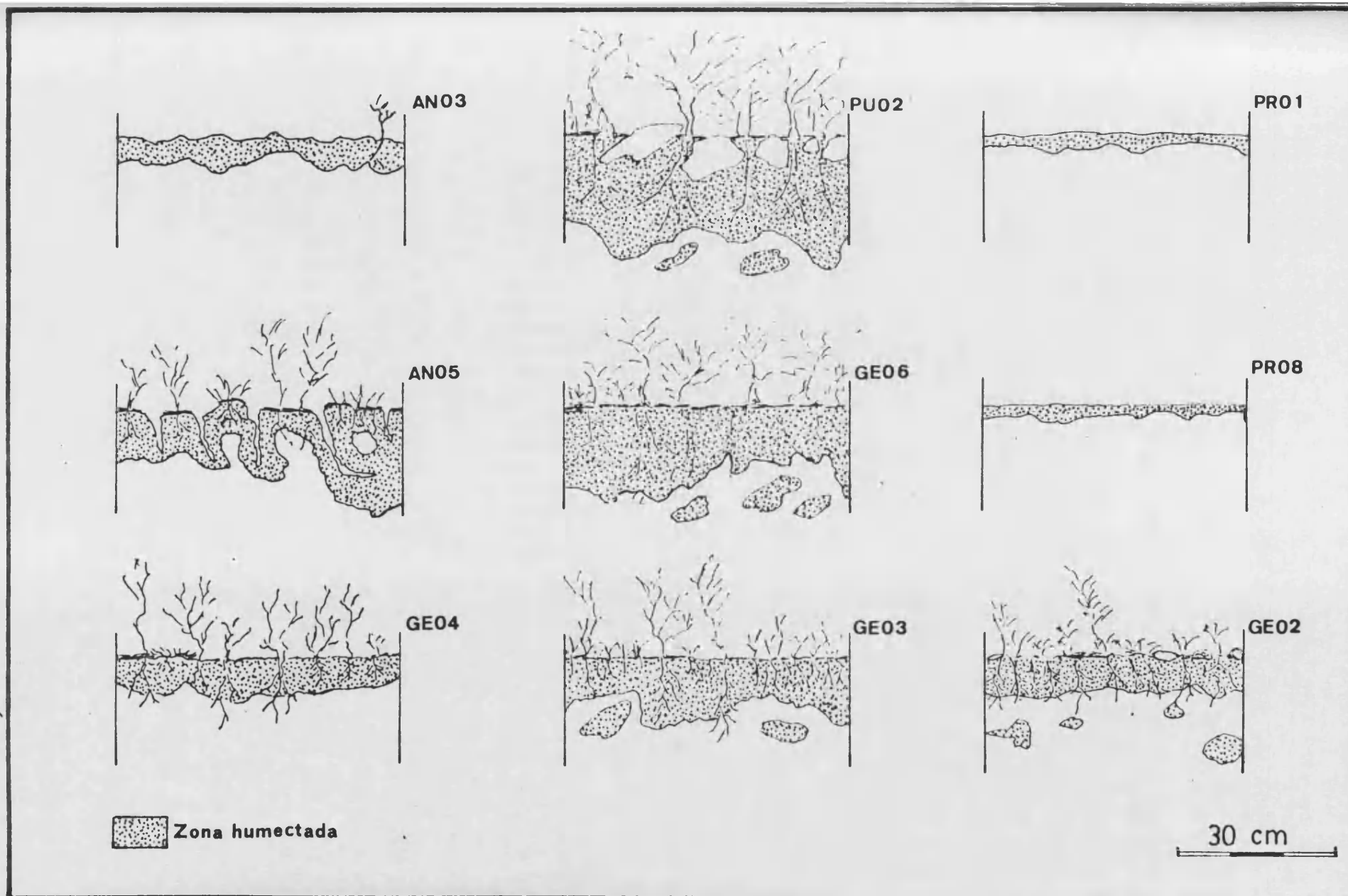


Figura 4.37. Distribución de la humedad en el suelo tras experimentos de una hora de duración y 55 mm h^{-1} de intensidad de lluvia simulada para distintos suelos estudiados sobre campos abandonados en la Vall de Gallinera

Una vez pasado el primer año (perfil 1), nos encontramos con frentes de humedad poco profundos (20-80 mm), los cuales sólo alteran su homogeneidad en los puntos donde existen plantas, cuyas raíces consiguen reducir el efecto del encostramiento y favorecer la infiltración del agua hasta mayores profundidades. En los dos casos, tanto en el suelo cultivado como en el abandonado un año, nos encontramos con la existencia de un frente de humedad, lo que nos hace pensar que el flujo a través de macroporos es insignificante.

Tras cinco años de abandono (perfil 5), surge una pérdida de homogeneidad del perfil y la aparición de pequeños espacios humectados por debajo del perfil dominante. La profundidad alcanzada por el primer frente oscila entre 50-100 mm, mientras que el segundo penetra hasta 130 mm. La aparición de este mecanismo de infiltración (a través de macroporos) es debido tanto a las excavaciones realizadas por los animales, como a los restos de raíces de la vegetación herbácea imperante en la parcela cinco años abandonada. Estos dos tipos de macroporos favorecen extraordinariamente la infiltración, y su presencia se dejará sentir tanto en la capacidad de infiltración, como en las morfologías de los frentes de humedad de los distintos suelos según sus edades de abandono.

Así en los suelos abandonados 10 años (perfil 10), los dos frentes de humedad han aumentado su profundidad, el principal de 65-120 mm y los secundarios alcanzan los 140 mm. Esta tendencia se ratifica en los campos abandonados 20 años (perfil 20), en los que además se distingue un aumento de la irregularidad del perfil. Las profundidades alcanzadas en este último caso oscilan entre 90-155 mm para el frente dominante y 220 mm para los originados por los macroporos. Hay que decir que en todos los casos donde se han originado zonas humedecidas por debajo del frente dominante de humectación, también nos encontramos con morfologías dentro de éste, que nos indican que en su avance ha capturado frentes producidos por macroporos. El proceso de infiltración por ello es más complicado en suelos donde además del flujo a través de la matriz se produce previamente pequeñas zonas humectadas, que con el tiempo serán capturadas por la penetración lenta pero constante del frente principal de infiltración.

Un ejemplo de esto es el suelo pedregoso estudiado (perfil denominado Pedregoso). Este suelo además tiene peculiaridades como es que la lluvia penetra al interior del suelo a través de los intersticios dejados por la pedregosidad, zonas ocupadas por la vegetación, de ahí que los pequeños frentes de humedad generados a partir de los macroporos sigan preferentemente las raíces de la vegetación,

alcanzando en este caso profundidades de 200 mm, mientras que el frente principal alcanza valores entre 65-100 mm.

En los suelos de campos abandonados e incendiados 20 años después del abandono (perfil denominado *Incendio*), la formación de grandes grietas rellenas de cenizas hace que el proceso de infiltración sea totalmente diferente a los casos estudiados anteriormente. Así nos encontramos con un sólo frente de humedad ondulante, ya que sigue la morfología de las grietas, alcanzando por ello entre 80-215 mm de profundidad. En este caso, el proceso de infiltración tiene como mecanismo esencial el flujo de la escorrentía superficial hacia las grietas y de éstas lateralmente a la matriz del suelo. El flujo a través de macroporos animales o vegetales no se ha apreciado, tal vez porque el encostramiento superficial impide el flujo de agua a través de los macroporos, que a pesar del incendio, subsisten en el suelo.

* * *

El estudio de los perfiles de humedad del suelo tras los experimentos con lluvia simulada estándar (55 m h^{-1}) nos ha permitido distinguir dos modelos de frentes de humectación. Un *primer* frente homogéneo, simple, poco profundo o superficial y producido por el flujo de agua a través de la matriz del suelo, y un *segundo* frente, heterogéneo, múltiple, más profundo que el anterior y producido por flujos preferentes en macroporos. Ambos son compatibles en un mismo suelo, y de hecho, el primero en su avance engloba al segundo.

Hay una clara relación positiva entre la profundidad del frente de humectación y la capacidad de infiltración de los suelos. En el caso de Puçol (areniscas del Bundsanstein), el frente de humedad simple alcanza profundidades de hasta 250 mm, mientras que el múltiple penetra 10 mm más. El otro extremo está representado por los suelos sobre margas senoniense, en el que sólo existe el frente simple, el cual en ocasiones no supera los 15 mm.

En el caso de los suelos sobre terrazas de cultivo, se produce un aumento de la profundidad del frente de humectación con el tiempo de abandono y la regeneración vegetal y edáfica.

Junto a los suelos sobre areniscas del Bundsanstein, los suelos de las laderas norte sobre calizas del Campaniense y arcillas del Keuper son los que presentan las máximas profundidades de suelo humedecido tras los experimentos, y en ellos siempre se han detectado patrones de humectación doble: un frente formado por el flujo a través de la matriz y otro vía macroporos. En los suelos poco vegetados, y

especialmente en los desnudos como los *badland* sobre arcillas del Keuper y margas del Senoniense, presentan un frente único, vía matriz, muy delgado y homogéneo.

La influencia de las grietas ha sido especialmente importante en los suelos vegetados sobre arcillas del Keuper, donde la infiltración del agua a través de ellas se ve reflejada en un frente de humectación ondulante.

5. FACTORES DE LA INFILTRACIÓN

Como ya vimos en el apartado dedicado al estudio de los antecedentes, una parte importante de la investigación hidrogeomorfológica ha sido dedicada al estudio de las características del medio que controlan la infiltración (ver apartado 2.5). En nuestro trabajo, se ha dedicado este apartado exclusivamente a discernir cuales son los factores que ejercen alguna influencia -también los que no- sobre el proceso de infiltración. La introspección en la relación factores-proceso, ha sido superficial debido a que un análisis mas detallado hubiera requerido un diseño de la investigación distinto y dedicado exclusivamente a esta cuestión. Sólo puntualmente se tratan algunos aspectos con mayor profundidad, concretamente, pedregosidad, intensidad de la precipitación y estabilidad de los agregados, lo que se hace por ser factores muy importantes dentro de los ecosistemas mediterráneos.

El método científico se ha utilizado en sus dos vertientes: inductivo y deductivo. Es decir, a partir de los experimentos realizados, se han relacionado las características de las superficies con la infiltración y de éste, se ha deducido la relación entre ellas. Pero también, puntualmente, se ha alterado la superficie del suelo o del diseño del experimento para inducir influencias con estos cambios sobre el proceso de infiltración.

En sentido estadístico, mediante el **método deductivo** se ha pasado de la población a la muestra, buscando el comportamiento más representativo, mientras que en el **inductivo**, de la alteración de parte de la muestra se ha inducido el comportamiento de la población ante el proceso de infiltración (WONNACOTT y WONNACOTT, 1972).

La población de experimentos estudiados en este apartado son sólo experimentos con lluvia simulada, debido al mayor número de medidas, a la mayor diversidad de ellas, y a su mayor interés hidrogeomorfológico, ya que es el método que reproduce con mayor precisión el proceso lluvia-infiltración-escorrentía. De las 720 pruebas realizadas, sólo se han utilizado, para este análisis, las que corresponden a pruebas realizadas en verano, y una por parcela en el estado de menor humedad en caso de haber varias repeticiones en esa estación, como así sucede en algunos casos (ver apéndices 9.6). En el caso de los suelos incendiados se ha elegido la última medición de verano (suelo seco), en las cuales los suelos se habían recuperado del impacto del fuego de una forma evidente. Esta selección se ha realizado debido a que los distintos niveles de humedad para una misma parcela muestran hidrogramas dispares, lo que dificultaría la comprensión del funcionamiento del proceso dentro del ecosistema. Además, las muestras utilizadas para los análisis físico-químicos de los suelos, fueron tomadas en verano, con lo cual no sería lógico atribuir los valores de materia orgánica o densidad de los suelos secos a los suelos húmedos de otras estaciones.

A pesar de esta selección de experimentos, la muestra disponible para el análisis de los factores de la infiltración oscila entre 335 pruebas, para cuestiones como cubierta vegetal, pedregosidad o pendiente, y 110, para aspectos como la textura, debido al mayor costo temporal de este tipo de análisis. Este volumen de información lo entendemos, al menos, como suficiente para dar una visión global de los factores que influyen sobre el comportamiento hidrológico de los suelos, aunque, como se verá la elevada dispersión de la muestra no nos permite establecer inferencias estadísticas de la fiabilidad deseable.

5.1. Factores topográficos: pendiente y exposición.

Los aspectos topográficos influyen sobre la infiltrabilidad de los suelos en dos aspectos: **directamente** lo hacen por que condicionan el proceso de infiltración al modificar el comportamiento hidrológico, como sucede con la mayor pendiente, la cual favorece la formación de escorrentía al reducir la profundidad de los encharcamientos y con ello las tasas de infiltración. E **indirectamente** lo hacen al determinar las tasas de actuación de los procesos formadores de suelo, ya que,

situaciones concretas como las laderas norte, se benefician del desarrollo de suelos con mejor agregación y mayores contenidos en materia orgánica, y por lo tanto con elevadas capacidades de infiltración. Por otra parte, las laderas sur en nuestra latitud se ven sometidas a fuertes alternancias térmicas, que favorecen los procesos degradativos de los suelos con mayor rapidez que en las laderas norte.

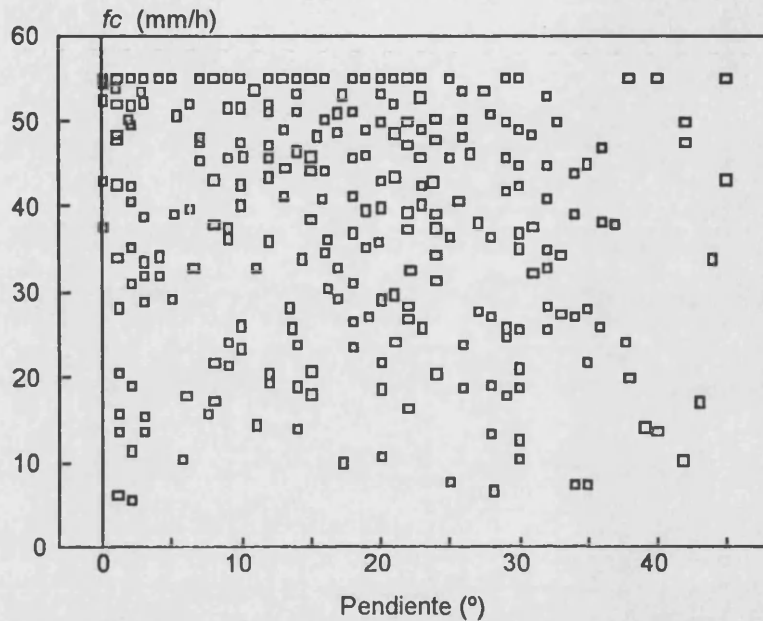


Figura 5.1. Relación entre la pendiente y f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

La **pendiente** del suelo, ha sido considerada generalmente como un factor negativo, tanto teóricamente, como hemos explicado previamente, como empíricamente (MUNN et al., 1973), aunque como vimos en el capítulo 2 hay también estudios experimentales que demuestran lo contrario (POESEN, 1984; LUK et al., 1986), o bien relaciones muy complejas en las que el umbral de 12° de pendiente determina los cambios de tendencia del proceso (ABRAHAMS y PARSONS, 1991; ABRAHAMS et al., 1991).

Puntualmente, como hemos visto en el capítulo 4, muchos suelos degradados están en zonas de retrocesos de cárcavas, zonas de fuerte incisión etc., lo que nos puede hacer pensar en una influencia negativa de la pendiente, pero también es posible encontrar suelos con una elevada pendiente con cubiertas importantes, tanto de herbáceas, como de matorral o árboles, todos ellos caracterizados por una elevada infiltrabilidad (ver figura 5.1). En sentido topográfico, los suelos con bajas pendientes tienen ciertas aptitudes para absorber agua, ya que en ellos los

encharcamientos pueden ser mayores y favorecer tasas de infiltración más altas. Otras razones son que estos suelos están en las partes bajas de las laderas, donde la acumulación de humedad, sedimentos y nutrientes favorece el desarrollo edáfico y con ello suelos con mejores aptitudes ante la infiltración, pero también mayores cantidades de arcillas y sedimentos que facilitan el encostramiento por deposición, así como alteraciones antrópicas por la mejor accesibilidad, lo cual da lugar a drásticas reducciones de la infiltración.

De los experimentos realizados se extrae la idea de que la influencia de la pendiente sobre la infiltración es ante todo muy compleja y que es inexistente, aunque físicamente un aumento de la pendiente favorezca la producción de escorrentía. En la figura 5.1, se puede observar como el valor de la f_c varia desde el 55 mm h^{-1} (el 100 % de la precipitación) hasta valores por debajo de los 10 mm h^{-1} , lo que se produce tanto en suelos con bajas ($< 10^\circ$) como elevadas pendientes ($> 30^\circ$). Esto concuerda con los resultados de otros autores (LATAZZI *et al.*, 1974), los cuales no encontraron ninguna relación entre la infiltrabilidad y la pendiente del suelo.

La **exposición** es un factor topográfico de gran importancia al explicar las formas del relieve, y por lo tanto los procesos hidrogeomorfológicos en las latitudes altas. La importancia de la orientación de las laderas condiciona el número de horas de sol recibidas por el suelo, y junto a otros factores, determinarán los regímenes de humedad, el nivel de materia orgánica, agregación, cubierta vegetal, etc. La influencia directa de la exposición sobre el proceso de infiltración no existe, como sí ocurre con otros factores como la pendiente, pero indirectamente puede condicionar las características de los suelos y favorecer incluso en nuestras latitudes la aparición de procesos hidrológicos contrastados como muy bien ha demostrado recientemente para el valle del Ebro GONZALEZ-HIDALGO (1992).

En nuestro estudio, como se vió en la presentación de los resultados del capítulo 4, se demuestra que en valores medios hay una clara influencia de la exposición sobre la hidrología de los suelos, como también la hay sobre la vegetación, materia orgánica de los suelos, etc. visto en la presentación de las zonas. Pero esto, que quedó tan claro en valores medios de f_c , ahora al tratar individualmente cada experimento dentro de todo el conjunto o población de experimentos, se vuelve confuso (ver figura 5.2). La elevada variabilidad espacial de la infiltración hace que incluso en los ambientes más estables, puedan surgir superficies degradadas, tanto por procesos naturales como antrópicos.

La elevada dispersión de la muestra en la relación entre la infiltración y la exposición es muy evidente (ver figura 5.2). Sólo podemos resaltar que valores de f_c bajos ($< 10 \text{ mm h}^{-1}$) no existirían para exposiciones norte si exceptuáramos suelos

procedentes de áreas degradadas sobre zonas margosas (Petrer y Monnegre), especialmente pediments o incluso ladera de *badlands*, que aunque más abundantes en la ladera sur cuando existen en la ladera norte, tienen comportamientos hidrológicos y morfológicos semejantes (ALEXANDER y CALVO, 1990; HARVEY y CALVO, 1991).

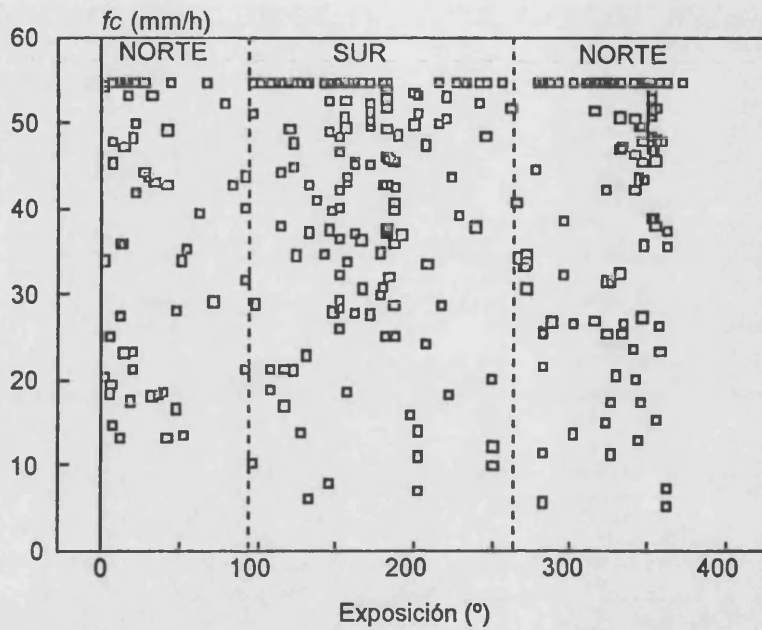


Figura 5.2. Relación entre la exposición y f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

* * *

En conclusión, podemos decir que, aunque tanto exposición como pendiente son teóricamente factores de la infiltración, especialmente el primero, como hemos demostrado en el capítulo 4 y como antes habían hecho distintos autores (KIRKBY, 1986; LA ROCA, *et al.*, 1988; CHURCHILL, 1982; GONZALEZ-HIDALGO, 1992), en un estudio de tipo deductivo como el realizado no es posible confirmarlo, ya que en todas las exposiciones pueden existir puntualmente suelos con baja, medias y altas tasas de infiltración. A pesar de ello, la exposición sí cabe entenderla como un factor directo de la infiltrabilidad de los suelos, ya que como hemos visto en el capítulo 4, las laderas norte en términos medios tienen tasas de infiltración mayores, si bien puntualmente las cárcavas, suelos degradados y alteraciones antrópicas pueden favorecer la existencia de suelos con aptitudes para la infiltración similares a las de

los suelos de las laderas sur, e incluso menores, por que la menor insolación puede producir grietas menos marcadas y con ello menores infiltraciones.

La **pendiente**, por su parte, aunque en claro desacuerdo con otro autores, la entendemos como un factor no definido, o que al menos, la interrelación de distintos factores hace que su influencia no se distinga en un análisis deductivo su influencia.

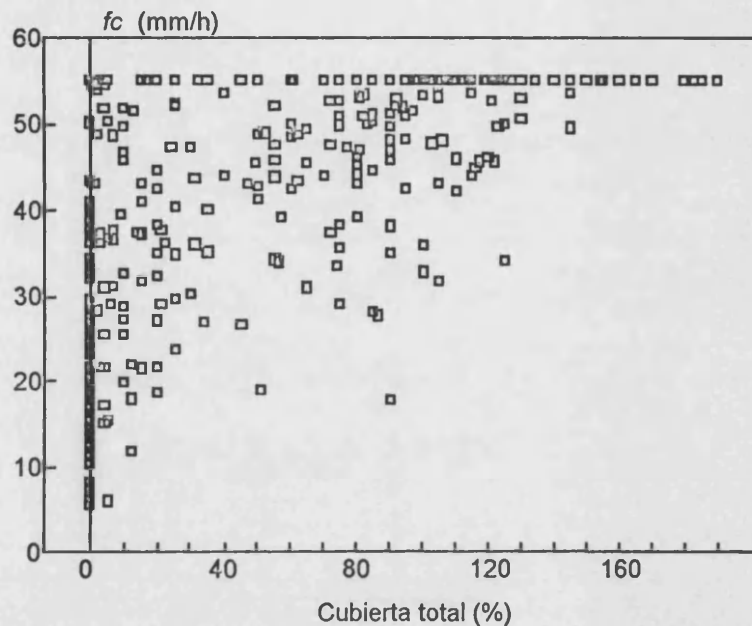


Figura 5.3. Relación entre la cubierta total de vegetación y la f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

5.2 Vegetación: plantas, líquenes, musgos y hojarasca.

La cubierta vegetal, aunque tiene una compleja relación con la hidrología de los suelos, es comparativamente con otros factores, la característica superficial que presenta una correlación más clara con la infiltración. Esto es debido a que la vegetación protege **directamente** de los agentes externos al suelo, entre ellos del impacto de las gotas de lluvia y de alternancias térmicas fuertes, lo que facilita **indirectamente** el desarrollo de características edáficas como la agregación, contenido en materia orgánica, porosidad, etc., todas ellas favorecedoras de la absorción y retención de agua por parte del suelo.

Los experimentos realizados en otras investigaciones paralelas han demostrado que la eliminación de la cubierta vegetal produce una reducción de la infiltrabilidad de los suelos de una forma evidente, por lo que no se creyó necesario repetir este tipo de experimentos. En el presente estudio las pruebas realizados en diferentes tipos de

suelos demuestran un importante aumento de los valores de f_c con la cubierta vegetal (ver capítulo 4). En general, la vegetación, incluyendo en este concepto líquenes, musgos, hojarasca y plantas, como todos los factores dependientes del desarrollo biológico, tiene una relación positiva con la infiltración (ver figura 5.3), pero es necesario matizar cómo es ésta, y que comportamiento adopta ante el tipo de experimento y lluvia empleado en esta investigación.

La primera impresión, tras analizar los datos, es que la vegetación se muestra como un factor que tiene una relación positiva con f_c . Esto no impide que existan variaciones importantes para un mismo nivel de cubierta vegetal, como lo demuestra la existencia de suelos con baja cubierta vegetal (< 20 %, o incluso 0 %) en los que la infiltración varíe desde 0 al 100% de la precipitación (figura 5.3). Un ejemplo que puede ilustrar este comportamiento lo encontramos en suelos como los *badlands*, que durante los periodos húmedos tienen valores de f_c iguales o cercanas a cero, debido a su total impermeabilización, pero en algunos casos, especialmente los que tienen altos contenidos en montmorillonita (SORIANO *et al.*, 1993), la formación de amplias grietas durante los periodos secos hace que se alcancen tasas de infiltración muy altas (GIRALDEZ y SPOSITO, 1985; PAYA y CERDA, 1992), por lo que esta relación cubierta vegetal-infiltrabilidad de los suelos variará por la influencia de otro factor, las grietas.

Del análisis de otras variables hidrológicas, se confirma que en los suelos vegetados el encharcamiento, la escorrentía en superficie, la salida de ésta de la parcela, etc., se produce más tardíamente cuando más vegetado está el suelo. Esta relación positiva de la infiltración con la cubierta vegetal se confirma con otros parámetros que nos indican el volumen de agua escurrida del suelo: E_{sm} , C_e , C_{e25} , etc.

5.2.1. Control de las plantas sobre la infiltración

La cubierta de plantas ejerce una relación positiva con la infiltrabilidad de los suelos porque modifica el proceso de producción de escorrentía en dos aspectos. Directamente las plantas reducen la energía cinética de la lluvia, con lo que evitan la compactación, tan negativa para la infiltración. Además, una vez generada la escorrentía, la rugosidad y el propio impedimento físico que significan las plantas, producen una retención de la arroyada y un encharcamiento subsiguiente que favorece la penetración del agua en el suelo. Otra influencia de las plantas y en general de la vegetación sobre el proceso de infiltración es que modifica la distribución real de la lluvia sobre el suelo, con lo que se evita un frente de humectación homogéneo, lo que favorece el intercambio agua-aire y evita el efecto

de aire atrapado (ver apartado 4.7). Indirectamente, las plantas mejoran el suelo al generar materia orgánica, mejorar la agregación, crear un microclima más tolerante con la vida animal y vegetal, etc., todos ellos factores que favorecen una matriz del suelo más porosa y una mayor cantidad de macroporos, conductos esenciales del agua infiltrada. Esta influencia de las plantas sobre el suelo hace que nos encontremos ante relaciones entre cubiertas de plantas y vegetación claramente positivas (ver figura 5.4), pero en las que la inferencia estadística es inútil debido a la dispersión de la muestra.

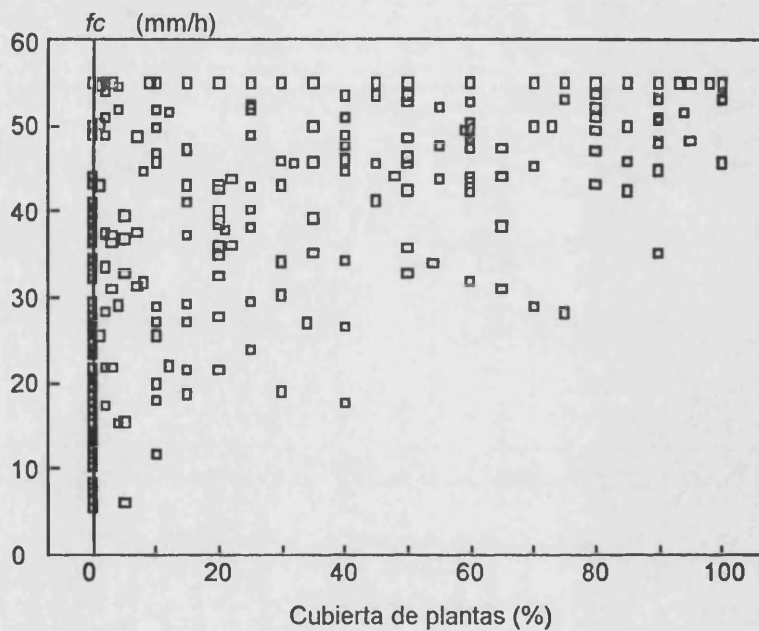


Figura 5.4. Relación entre la cobertura de plantas con la tasa de infiltración final estable (f_c). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

Además, de la cubierta de plantas, las características de estas, definidas en el presente estudio por su densidad, biomasa y altura, muestran una relación positiva mucho más ajustada con los parámetros definitorios de la infiltración, debido esencialmente al efecto multiplicativo de estos parámetros, lo que hace que la relación sea mucho más clara y estrecha.

La altura de la vegetación presenta una clara relación positiva con f_c , lo que parece lógico, ya que los suelos con cubiertas vegetales importantes también suelen ser los que tienen plantas más altas, bajo las cuales se desarrolla un estrato en el que la hojarasca, musgos, y herbáceas favorecen la intercepción y almacenamiento del agua. A pesar de esto, nuestros resultados muestran una elevada dispersión, debido esencialmente a la existencia de abundantes suelos con vegetación de

reducida altura y tasas de infiltración elevadas, lo que esencialmente se restringe a suelos con coberteras herbáceas (*Brachypodium retusum*), los cuales, como hemos visto en la ladera norte de Anna, tienen tasas de infiltración que superan el 100 % de la precipitación a lo largo de todo el experimento. También existen algunos suelos con vegetación de hasta 50-60 cm de altura, que tienen valores de infiltración ligeramente inferiores a lo previsible, lo que es debido a la existencia de suelos con arbustos muy altos pero con una reducida densidad, siendo las zonas más áridas, Petrer y Monnegre, donde podemos encontrar esto con mayor asiduidad, ya que en las zonas de matorral sobre calizas los arbustos tienen mayor biomasa y están acompañados de herbáceas o musgos que favorecen la estabilidad del suelo.

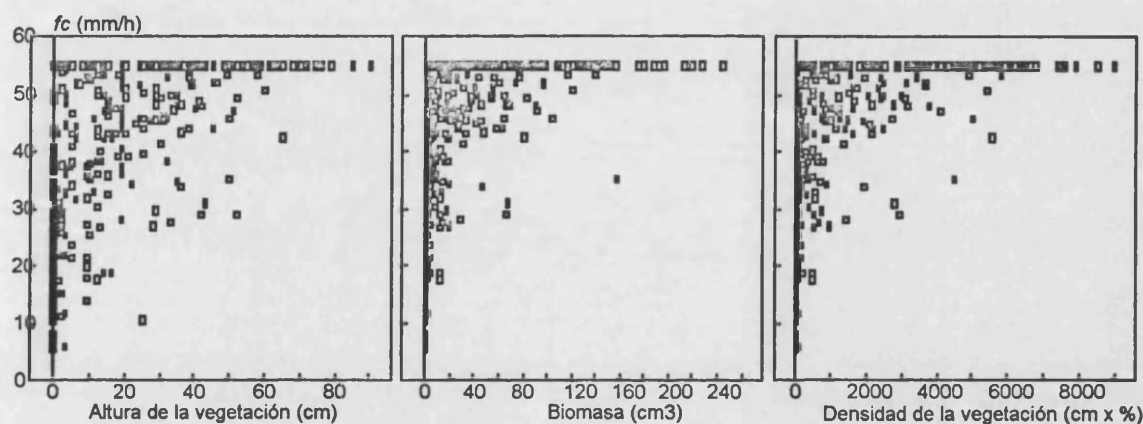


Figura 5.5. Relación entre f_c (tasa de infiltración final estable) y altura, densidad y biomasa de la vegetación. Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

En todas las zonas de estudio, pero especialmente en los desarrollados sobre litologías blandas, es posible encontrarse suelos con altas tasas de infiltración, aunque la altura de la vegetación sea baja. Esto se debe a cuestiones morfológicas puntuales, como las grietas o macroporos que facilitan la infiltración (*badlands* sobre arcillas del Keuper o margas del Senoniense con gran cantidad de montmorillonita) o bien las cubiertas de herbáceas como es el caso de Anna, donde a pesar de no encontrarse cubiertas vegetales con alturas superiores a 50 cm (normalmente menores a 30 cm), las tasas de infiltración pueden ser muy altas.

Todos los gráficos presentados nos muestran como hay suelos con capacidades de infiltración elevadas para las diferentes niveles de cubierta vegetal, así como suelos con alturas de las plantas cercanas a cero, o incluso cero, las cuales responden a cubiertas inexistentes, que pueden absorber el 100 % de la precipitación.

Tanto para la densidad de las plantas como para la biomasa, se repite el comportamiento presentado anteriormente, si bien la relación es más ajustada y clara como consecuencia del efecto multiplicativo de estos dos índices de vegetación (ver gráficos 5.5).

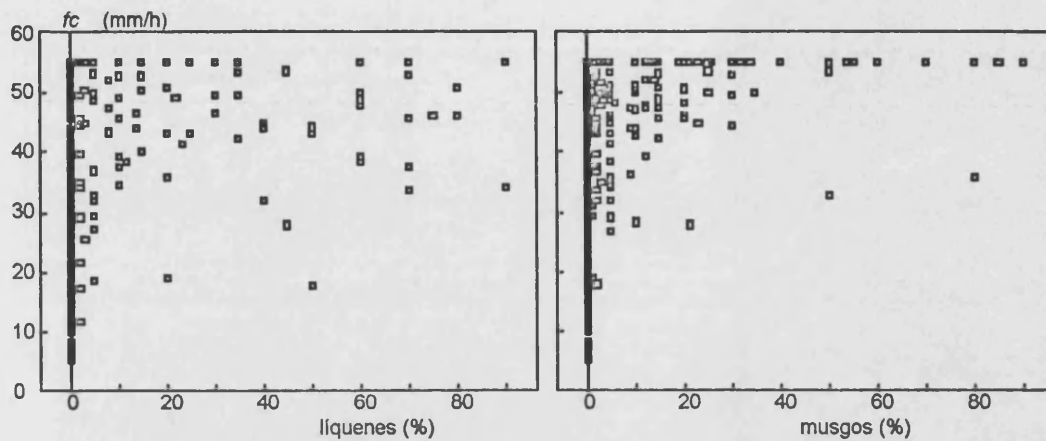


Figura 5.6. Relación entre la cubierta de musgos y líquenes con f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

5.2.2. Líquenes y musgos: morfologías semejantes, respuestas contrastadas

La cubierta de líquenes puede ejercer una influencia negativa sobre la infiltrabilidad, como han demostrado algunos autores en ambientes semiáridos (ALEXANDER y CALVO, 1990), pero también es cierto que algunos tipos de líquenes conviven con cubiertas vegetales importantes, gracias a las cuales disfrutan de un microclima más húmedo y estable, por lo que en muchas ocasiones los podemos encontrar asociados a suelos con una alta infiltrabilidad. Como se comprueba en el gráfico 5.6, el análisis de todos los experimentos realizados nos muestra la inexistencia de una relación entre la infiltración y la cubierta de líquenes, con lo que se confirma la idea de que éstos pueden estar en todo tipo de suelos, a pesar de que su hidrología sea muy dispar. Hay que decir que, tal vez, si el estudio se hubiese realizado por especies de líquenes se podría encontrar alguna relación, ya que sus morfologías varían dependiendo de en qué tipo de suelo se encuentren. Observamos que excepto en casos excepcionales, las cubiertas de líquenes tan sólo ocupan un porcentaje menor al 20 % de la superficie del suelo, y son muchos los casos en los que no existen, por lo que podemos considerarlos una excepción dentro de las características de las cubiertas edáficas.

La cubierta de musgos, aunque como en el caso de los líquenes, sólo aparecen en un reducido número de suelos, y normalmente con cubiertas inferiores al 20 %, se muestran relacionados positivamente con la infiltración. Según se desprende del análisis del segundo gráfico de la figura 5.6, nos encontramos ante un comportamiento muy claro entre la relación cubierta de musgos-suelos-hidrología, ya que las superficies con cubiertas mayores al 10% de musgos presentan infiltraciones mayores de 25 mm h^{-1} , pero también existen suelos sin musgos en los que la infiltración es el 100 % de la precipitación.

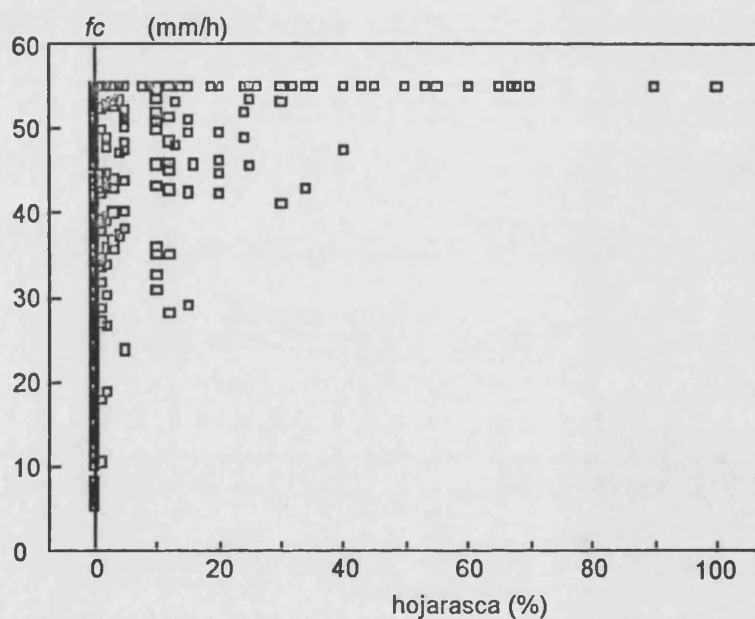


Figura 5.7. Relación entre la cubierta de hojarasca con fc (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

5.2.3. Hojarasca, influencia positiva sobre la infiltración

Dos aspectos muy importantes dentro de los factores bióticos, y relacionados directamente con la vegetación son la cubierta de hojarasca y la materia orgánica del suelo. Respecto a la primera, nos encontramos, como en los musgos, una clara relación positiva, ya que a pesar de que en los suelos con cubiertas insignificantes de hojarasca el rango de variación de fc es muy alto, con cubiertas superiores al 5 %, fc tiene siempre valores superiores a 25 mm h^{-1} , y si este umbral lo aumentamos hasta 50 % de cubierta el valor de fc alcanza tasas superiores a 55 mm h^{-1} .

* * *

A modo de conclusión podemos decir, que la infiltrabilidad de los suelos del País Valenciano está en gran medida determinada por la cubierta vegetal, ya que su relación es plenamente positiva. Todos los aspectos de la cubierta biótica estudiados tienen relaciones positivas con *fc*, excepto los líquenes, en los que la relación está poco definida. Cuando más refinado es el índice de la cubierta vegetal, la relación es más clara, ya que se provoca un efecto multiplicativo. Este efecto también se produce de forma natural, ya que los suelos con mayores cubiertas de hojarasca son los más vegetados (origen de la hojarasca), además de ser los de mayor altura, biomasa y densidad de vegetación, y los de mayor cubierta de musgos debido al microclima creado por la vegetación.

Este efecto multiplicativo es el que hace que las relaciones de cualquier índice de cubierta vegetal esté plenamente relacionado con la infiltración, tanto a nivel global como a nivel individual para las plantas, musgos y hojarasca (BOLIN y WARD, 1987; WOOD *et al.*, 1987; JOHNSON y GORDON; 1988; WILCOX *et al.*, 1988; FAULKNER, 1990). Tanto para la pérdida de suelo, como para la infiltración (YOUNG y BURNELL, 1972; WOOD *et al.*, 1986; RAWLS *et al.*, 1988; SALA y CALVO, 1990; PARSONS *et al.*, 1991), y la degradación del ecosistema en general (LYONS y GIFFORD, 1980; FRANCIS *et al.*, 1986; WARD *et al.*, en preparación), la vegetación se ha comportado como un factor positivo.

5.3. Pedregosidad y encostramiento

La influencia de la pedregosidad sobre la infiltrabilidad de los suelos se basa en la protección que ofrecen los fragmentos de roca, en la reducción del impacto de la gota de lluvia y por ello en la disminución de las tasas de erosión y aumento de la infiltrabilidad de los suelos. Los fragmentos de roca favorecen la infiltración por varias razones:

- El contacto entre las piedras y la matriz favorece un flujo más rápido del agua dentro del suelo.
- El aumento de la rugosidad del suelo con la pedregosidad reduce la velocidad de la escorrentía.
- La formación de charcos aumenta la presión de la columna de agua.
- Con la cubiertas de piedras se produce una reducción de la erosividad de la lluvia, y por ello las escorrentías son más limpias y se reduce la obturación de los poros por sedimentos.

Es de destacar que a los argumentos positivos apuntados se suman otros negativos vistos en el capítulo 2, como lo es la baja capacidad de retención hídrica de las piedras, aunque estos parecen menos importantes.

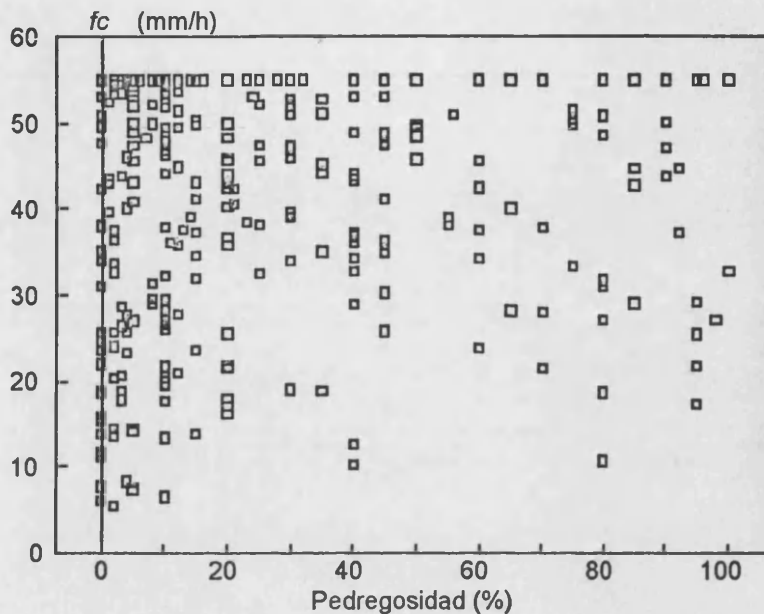


Gráfico 5.8. Relación entre la cubierta de piedras y fc (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

El intento de conocer la influencia de la pedregosidad por medio del **método deductivo** se vió truncada por los malos resultados, ya que no se veían comportamientos o tendencias claras de las muestras. Así, en la figura 5.8, se muestra una relación muy complicada de la cubierta de fragmentos de roca con la infiltración, en este caso el parámetro (fc). En esta relación, es posible encontrar suelos con cubiertas de fragmentos de roca muy distintos y con tasas de infiltración del 100% de la precipitación o bien con infiltraciones cercanas a cero. También hay superficies con coberteras de piedras muy altas ($> 80 \%$) que dan lugar a valores de fc desde el 10 al 100 % de la precipitación, comportamiento que no se producía con las cubiertas de vegetales. Sin duda la gran cantidad de factores: diferentes tipos de suelos, litología, textura, cubiertas vegetales, etc., hacen que sea difícil distinguir claramente la influencia de la pedregosidad, suponiendo que ésta sea unidireccional.

En el capítulo 4 vimos como en diferentes zonas nos encontrábamos con que los suelos pedregosos tenían bajas tasas de infiltración, con escorrentías que en ocasiones se asimilaban a suelos degradados como los *badlands* sobre margas del Senoniense, e incluso mayores a los *badlands* sobre arcillas del Keuper. Pero

también hay que decir que, en comparación con suelos con cubiertas vegetales semejantes, especialmente los de reducidas cubiertas, los suelos pedregosos presentan valores de fc superiores en 10 mm h^{-1} .

La importante discusión iniciada en los años 30 y 40 acerca de la influencia de la pedregosidad sobre la infiltración, y mantenida hasta la actualidad (ver capítulo 2), nos hizo realizar una introspección más detallada en esta compleja relación entre la capacidad de absorber agua de un suelo con su cubierta superficial de piedras. Para ello, se diseñó un estudio muy detallado basado en inducir el comportamiento hidrológico del suelo con la modificación de la superficie de este (método Inductivo). Se eligieron seis suelos con cubiertas elevadas de piedras, en los que se realizaron doce experimentos, uno para cada parcela en estado normal y otro tras eliminarse las piedras.

	SUELOS		SIN		ALTERACION			fc mm h^{-1}
	$Piedras$ %	hs %	hss mm h^{-1}	Esm	Ce	$Ce25$	α min^{-1}	
GE18	85	2,1	3,21	0,00	0,00	0,00		55,00
GE20	80	2,14	1,92	0,00	0,00	0,00		55,00
GE37	80	0,92	7,93	15,54	0,30	0,44	0,38	31,03
GE52	90	1,14	2,87	8,56	0,16	0,22	0,24	43,83
GE53	75	0,9	2,32	15,68	0,29	0,48	0,14	26,70
GA22	40	2,19	3,45	0,82	0,01	0,03		55,00

	SUELOS		SIN		PIEDRAS			fc mm h^{-1}
	$Piedras$ %	hs %	hss mm h^{-1}	Esm	Ce	$Ce25$	α mm h^{-1}	
GE18P	12	16,21	15,31	24,98	0,46	0,66	0,15	20,07
GE20P	20	19,45	14,98	26,09	0,50	0,67	0,31	17,94
GE37P	10	18,3	14,18	29,46	0,56	0,69	1,00	18,66
GE52P	15	20,19	10,32	14,39	0,27	0,37	0,86	38,22
GE53P	10	21,21	14,12	14,93	0,28	0,41	0,17	34,99
GA22P	13	14,45	10,34	7,09	0,13	0,21	0,02	35,12

Tabla 5.1. Respuesta hidrológica para experimentos sobre suelos secos en calizas en situación natural (sin alteración), sin piedras, en húmedo debido al experimento previo (P) Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos calcáreos: Genovés (5 pruebas) y la Vall de Gallinera (1 prueba). (ne) sin escorrentía

Todos estos experimentos fueron llevados a cabo en los suelos desarrollados sobre las litologías más abundante del territorio Valenciano, las calizas. El diseño experimental consistía en producir un chaparrón de lluvia simulada estándar sobre estos suelos pedregosos, y luego eliminar las piedras superficiales, es decir las que no presentan ninguna parte incrustada en el suelo. El tiempo entre el fin del primer experimento y el inicio del segundo fue inferior a los diez minutos, por lo que la redistribución de la humedad en el perfil del suelo sería poco importante, y por ello la

curva de escorrentía del segundo experimento, tras unos minutos, debería ser continuación de la anterior. Exceptuando la prueba GE53P, en la que se eliminaron tanto piedras superficiales como incrustadas, en el resto de los suelos sólo se eliminó la pedregosidad que no tenía ninguna parte dentro de la matriz del suelo.

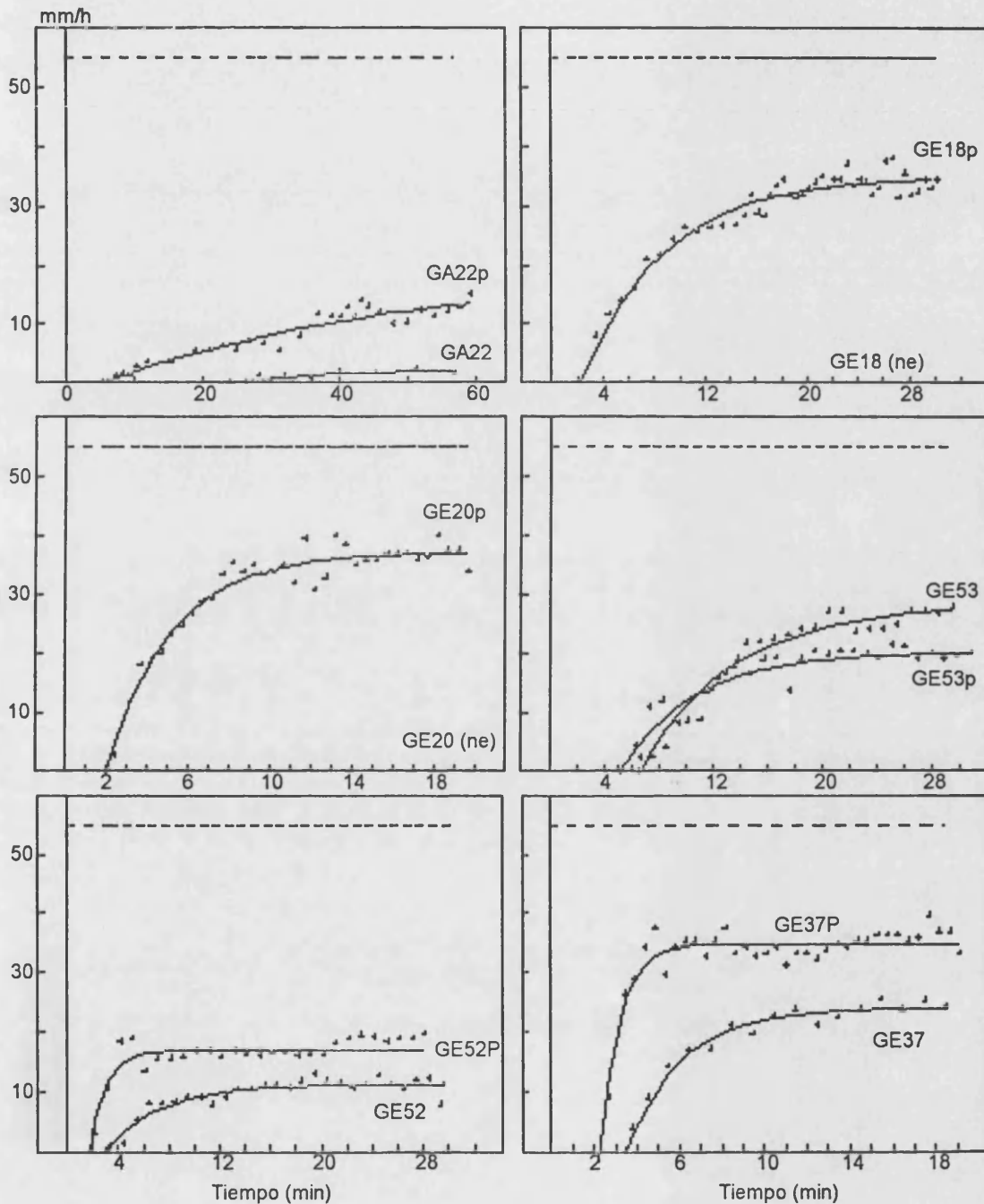


Figura 5.9. Respuesta hidrológica para experimentos sobre suelos secos en calizas en situación natural (sin alteración) y sin piedras, en húmedo debido al experimento previo (P). Datos obtenidos a partir de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos calcáreos: Genovés (5 pruebas) y la Vall de Gallinera (1 prueba). (ne) sin escorrentía

Las curvas de escorrentía de los doce experimentos nos indican una importante alteración de la hidrología de los suelos al eliminar la pedregosidad superficial. Así tenemos que, en GE18 y GE20 se produce una fuerte escorrentía, suelos que con la cubierta intacta de piedras eran capaces de absorber toda la precipitación. Sin duda, la rugosidad generada por la pedregosidad, junto a la protección del impacto de las gotas es muy importante en suelos en los que la cubierta de fragmentos de roca es la única protección.

Una situación semejante se produce en los dos casos restantes, presentados en la misma figura 5.9, donde la influencia de los cambios en la cubierta de piedras es menor. Hay que decir que los resultados pueden estar exagerados, porque el primer experimento se realiza en seco y el segundo en húmedo, pero de todas formas la influencia de la cubierta de piedras no incrustadas parece claramente positiva. Además de los mayores volúmenes de escorrentía, con la eliminación de la pedregosidad, se ha producido una reducción de la tasa de infiltración más rápida (ver valores de α en la tabla 5.1), aunque en parte esto es debido a la mayor humedad del suelo.

En los casos de GE37 y GE37P se produce un aumento muy ligero de la infiltración debido a que en este caso también se eliminó parte de las piedras incrustadas, lo que dió lugar a un efecto semejante a la roturación de los campos, aumentando con ello la rugosidad y la aptitud de los suelos para la infiltración. Además, a pesar de la mayor humedad previa del segundo experimento y la más rápida producción de escorrentía, la pendiente de la curva de infiltración fue menor (ver tabla 5.1).

Este comportamiento no unidireccional de la pedregosidad, supone una complicación en el estudio de su influencia sobre la hidrología de los suelos, cuando se hace de forma deductiva. Como se puede observar en la figura 5.8, aunque la dispersión de la muestra es muy alta hasta cubiertas del 50 %, hay una ligera tendencia al crecimiento de la infiltrabilidad con el aumento de la pedregosidad, mientras que con cubiertas superiores al 50 % esta tendencia se invierte. A pesar de esto, es imposible hacer ninguna inferencia estadística, debido a que nos encontramos con que el comportamiento de los suelos es muy variado, de ahí que, tanto para cubierta de fragmentos de roca inferiores al 10 % como superiores al 90 %, se puedan encontrar suelos con la infiltración del 100 % o menos del 10 % de la precipitación.

Muy relacionado con el tipo de suelo y especialmente con el contenido en carbonato cálcico y la textura está el encostramiento del suelo. Aunque no se han realizado mediciones directas de éste y de sus características, las descripciones

realizadas en el campo nos han permitido calificar el encostramiento como muy negativo para el infiltración. A esta conclusión hemos llegado después de comprobar que son los suelos encostrados dentro de cada cuenca de drenaje los que producen mayores escorrentías, como repetitivamente hemos comentado en la presentación de resultados del capítulo 4. Una medición indirecta del encostramiento se puede realizar a partir del hidrograma, ya que la misma definición de sellamiento o encostramiento se basa en la baja transmisividad hidráulica del suelo, y en concreto de la capa superficial. Para definir el encostramiento, desde el punto de vista hidráulica, hemos recurrido al índice de sellamiento utilizado por el Profesor POESEN (1985), ya explicado en el capítulo dedicado a la metodología, lo que además servirá para verificar su uso para experimentos sobre suelos naturales.

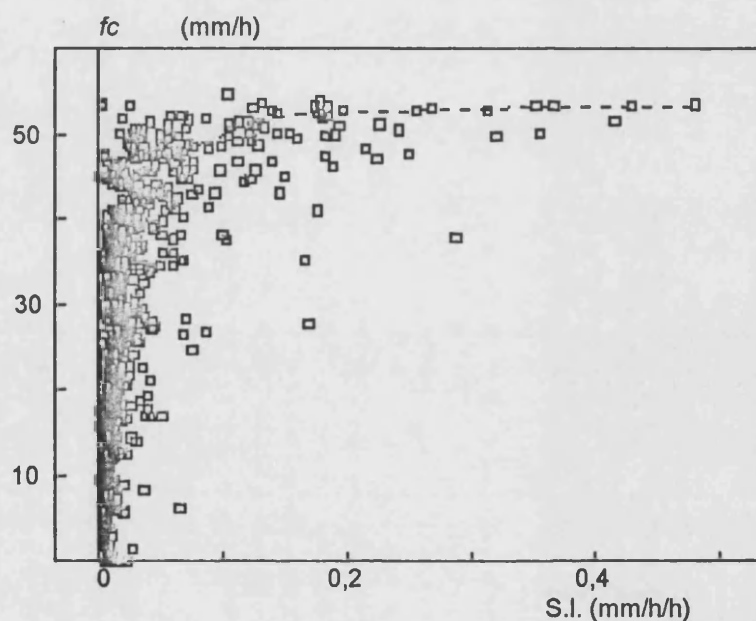


Figura 5.10. Relación entre el índice de sellamiento (S.I.) y f_c (tasa de infiltración final estable). Los datos proceden de los 570 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) con escorrentía superficial medida tanto en suelos secos como húmedos

Los resultados nos muestran una clara relación entre índice de sellamiento y la infiltración final estable. Cuando mayor es el sellamiento el volumen de agua que pasa por la costra es menor y por ello la capacidad de infiltración también lo es. En parte la buena relación descrita en la figura 5.10 es fruto de que los dos concepto correlacionados sean hidrológicos. La relación por lo tanto es positiva y logarítmica como lo demuestra el mejor ajuste de la ecuación $y = 64,66 + 20,28 (\log x)$, con un coeficiente de correlación de $0,45 (r^2)$.

* * *

El índice de sellamiento utilizado se confirma como un buen parámetro para el estudio de la hidrología de suelos naturales en el campo, lo que ya había sido demostrado para experimentos en laboratorio (POESEN, 1985).

Respecto a la pedregosidad, aunque el método deductivo no nos ha permitido establecer ninguna gradación clara, como ya ha ocurrido en otras investigaciones (ABRAHAMS y PARSONS, 1991), si podemos decir que mediante la eliminación de la pedregosidad (método inductivo) se ha conseguido comprobar que las piedras superficiales favorecen la infiltración del agua, mientras que las incrustadas deben reducirla. Respuestas semejantes han encontrado otros autores en estudios de laboratorio (POESEN, 1986; POESEN *et al.*, 1991).

5.4. Propiedades físicas de los suelos

Los factores abióticos controlan la infiltración porque es a través de ellos por donde se produce este proceso hidrológico. Por lo tanto, **textura y estructura** influirán directamente sobre la hidrología de los suelos, y dependiendo de éstos y otros factores edáficos como el contenido en **materia orgánica** y **cubierta vegetal**, la **porosidad y densidad** del suelo pueden mostrar una clara relación con la infiltración, como también lo hace la **profundidad** del suelo, la cual controla la capacidad potencial de infiltración junto a los factores antes mencionados.

5.4.1. Textura

Aunque, como se aprecia en la figura 4.11, entre la tasa de infiltración constante y el contenido de arena de los suelos la relación no es muy clara, se puede decir que los suelos más arenosos tienen mayores tasas de infiltración. Exceptuando algún caso muy concreto, en los suelos con texturas arenosas (> 40 %) los valores de la infiltración son superiores al 50 % de la precipitación. Pero, como ya ocurrió con otros factores, existen suelos con un contenido de la fracción arena insignificante que pueden absorber tanto el 100 % como sólo el 10 % de la precipitación.

Con el limo, el comportamiento sería el contrario: con un aumento de su contenido descendería la capacidad de infiltración, pero como se muestra en el segundo gráfico de la figura 5.11, existen suelos con gran cantidad de limo y una elevada infiltrabilidad (100 % de la precipitación).

Las arcillas por su parte también muestran una tendencia ligeramente negativa, aunque existen suelos muy arcillosos como los desarrollados sobre arcillas del Keuper (> 50 % de arcilla), los cuales tienen una elevada infiltrabilidad, especialmente los de la ladera norte donde el 100 % de la precipitación se infiltra.

Por lo tanto, sobre la influencia de la textura sobre la infiltración aunque se puede vislumbrar alguna tendencia, en general, la elevada dispersión de la población estudiada no nos permite hacer ninguna inferencia estadística. El capítulo 4 ya nos brindó la oportunidad de comprobar cómo los suelos muy arenosos (areniscas del Bundsanstein) presentaban tasas de infiltración elevadísimas, mientras que los limosos de las margas del Senoniense tenían las menores capacidades de infiltración. La relación textura-infiltración se puede comprender mejor con este ejemplo, ya que, si bien sobre las areniscas todos los suelos tienen elevadas capacidades de infiltración, sobre las margas la diversidad es mayor, siendo la influencia de otros factores (exposición, vegetación, materia orgánica, etc.), la que explica la existencia de una elevada infiltrabilidad al mejorar la aptitud de los suelos para la absorción del agua.

Los suelos sobre calizas, como los de las areniscas, han dado lugar a suelos muy arenosos, siendo sus tasas de infiltración muy altas, aunque los suelos sobre arcillas del Keuper, al contrario que las margas del Senoniense, presentan una alta capacidad de infiltración, como se puede ver en el tercer gráfico de la figura 4.11, a pesar de sus contenidos en arcillas superiores al 50 %.

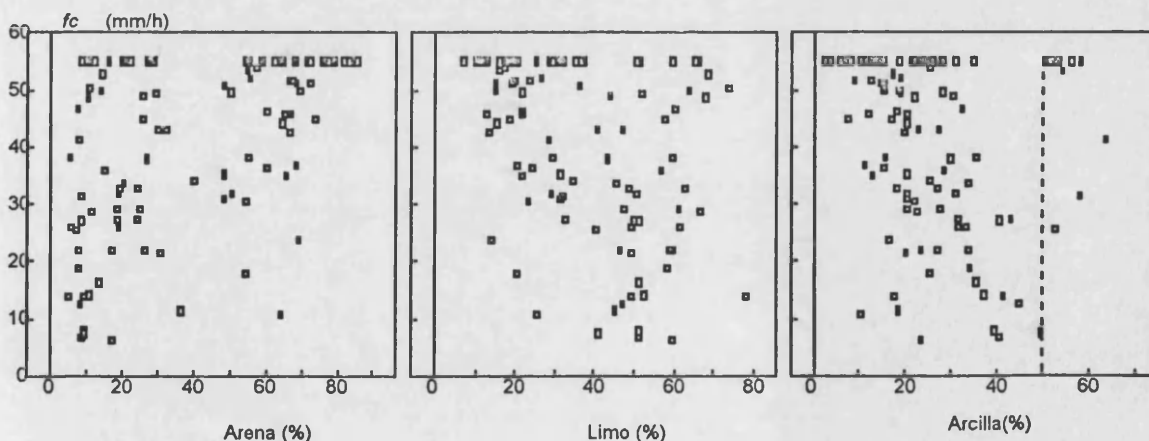


Figura 5.11. Relación entre la textura y la f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 110 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

5.4.2. Estructura

La importancia de la agregación y la estabilidad de los agregados reside en que de ésta depende la resistencia del suelo a la compactación y el sellamiento (FARRES, 1980), así como a la creación de espacios porosos. En general, los suelos con mayor y mejor agregación se caracterizan por las condiciones que favorecen la penetración del agua en su interior, así como su almacenamiento.

El número de análisis realizados no afecta a tantos suelos como lo hizo la medición de la capacidad de infiltración u otras características fisicoquímicas (materia orgánica, textura, etc.) o superficiales de los suelos (plantas, pedregosidad, musgos, etc.) por el enorme costo temporal de las técnicas empleadas en la determinación de la estabilidad de los agregados. La comparación de estos resultados con los obtenidos en los experimentos con lluvia simulada e infiltrómetro de cilindro (ver capítulo 4) nos permite establecer una relación bastante clara entre la estabilidad de los agregados de los suelos de cada zona de estudio y su hidrología.

De las diez zonas seleccionadas a lo largo del País Valenciano, se han realizado análisis de la estabilidad de los agregados en cuatro: Anna, Petrer, Genovés y Bolbens, sobre arcillas del Keuper, margas del Senoniense, y Calizas del Campaniense con cubierta de matorral incendiado hace 10 y un año respectivamente. Aunque se dispone de más datos, el análisis aquí presentado, se centra exclusivamente en la estabilidad de las agregados del horizonte superficial, y la comparación con la infiltrabilidad de los suelos se hace sobre los parámetros obtenidos con simulador de lluvia.

5.4.2.1. Estabilidad de los agregados ante el impacto de las gotas

La medición de la resistencia de los agregados a partir de impactos de gotas simples un método muy antiguo (McCALLA, 1944), el cual está basado principalmente en la reproducción del proceso por el cual el impacto de las gotas de lluvia destruyen los agregados y encostran el suelo a partir de la dispersión de éstos (FARRES, 1987). Con este método se han realizado dos test, TDI ("*Ten Drops Impacts*") y CND ("*Counting the Number of Drops impacts*"), que han sido utilizados por la comunidad científica con bastante asiduidad y han demostrado su validez, tanto en suelos de climas templados como de climas semiáridos (IMESON y VIS, 1984a; IMESON y VERSTRATEN, 1985).

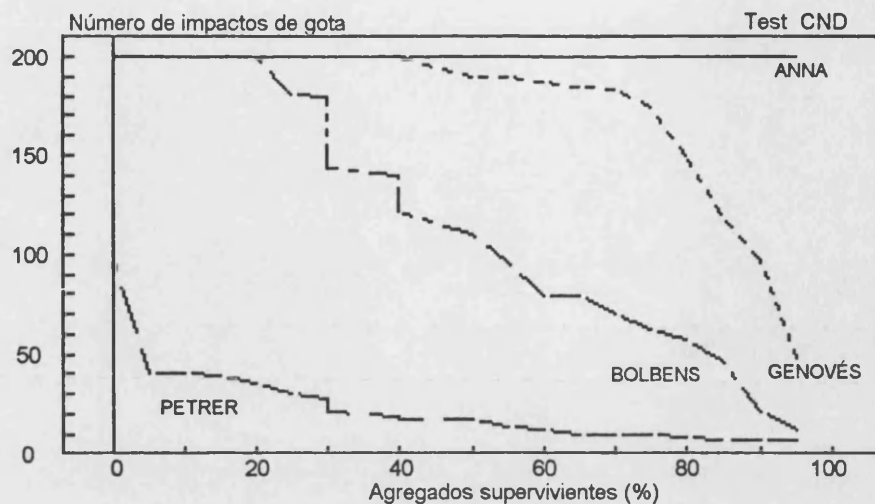


Figura 5.12. Estabilidad de agregados del horizonte superficial de los suelos de las laderas norte de las diferentes zonas de estudio. Test CND. Anna, arcillas del Keuper; Petrer, margas del Senoniense; Genovés, calizas del Campaniense; y Bolbens suelos incendiados sobre calizas del Campaniense

a) Experimentos con el test CND ("Counting the Number of Drops impacts")

El test CND nos muestra un claro contraste entre los suelos de Anna, muy estables, y los suelos con agregados muy inestables de Petrer. Entre estos polos nos encontramos con una situación intermedia, la de los suelos sobre calizas, donde podemos distinguir entre los suelos incendiados de Bolbens, y los suelos de Genovés, ligeramente más estables.

Algunos datos pueden ilustrar las claras diferencias entre los tres suelos tipo. En Anna, el 100 % de los agregados resiste 200 impactos de gota, mientras que en Genovés lo hace el 40 % y en Bolbens el 20 % de la muestra. Al contrario, en los suelos de Petrer, son necesarios menos de 100 impactos de gota para alcanzar la dispersión de todos los agregados. Otro parámetro que nos permitirán diferenciar la estabilidad de los agregados de los suelos es el nivel en el que se alcanza el 50 % de la muestra superviviente, el cual en Petrer es de 20 impactos de gota, en Bolbens 110, en Genovés 185 y en el caso de Anna no se supera este umbral ni con 200 impactos de gota, puesto que ningún agregado fue dispersado.

Estos datos ratifican y enriquecen los resultados obtenidos con el test de Emerson, ya que con este método, excepto los agregados procedentes de las muestras de Petrer, el resto no sufrieron ninguna alteración al ser sumergidos en agua destilada.

La comparación de estos resultados, con los obtenidos en los experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) nos muestra una clara relación entre

hidrología y estabilidad de los agregados. Los datos presentados hasta el momento proceden del análisis de los horizontes superficiales de los suelos más estables de las laderas norte, que recordemos eran en todos los casos los que mayores tasas de infiltración presentaban. En el caso de *Anna* y en verano (periodo en el que se recogieron las muestras), nos encontramos con valores de fc de $54,82 \text{ mm h}^{-1}$ (recordemos que la precipitación utilizada en los experimentos estándar fue de 55 mm h^{-1}) y que sólo 2 de las 16 pruebas realizadas produjeron escorrentía. En ladera norte de *Genovés*, para el mismo periodo, el valor medio de fc fue de $48,67 \text{ mm h}^{-1}$, mientras que para *Bolbens* el valor medio para fc fue de $47,84 \text{ mm h}^{-1}$ y para *Petrer* de $46,6 \text{ mm h}^{-1}$, siempre en valores medios de unidades de suelos muy vegetados sobre las laderas norte.

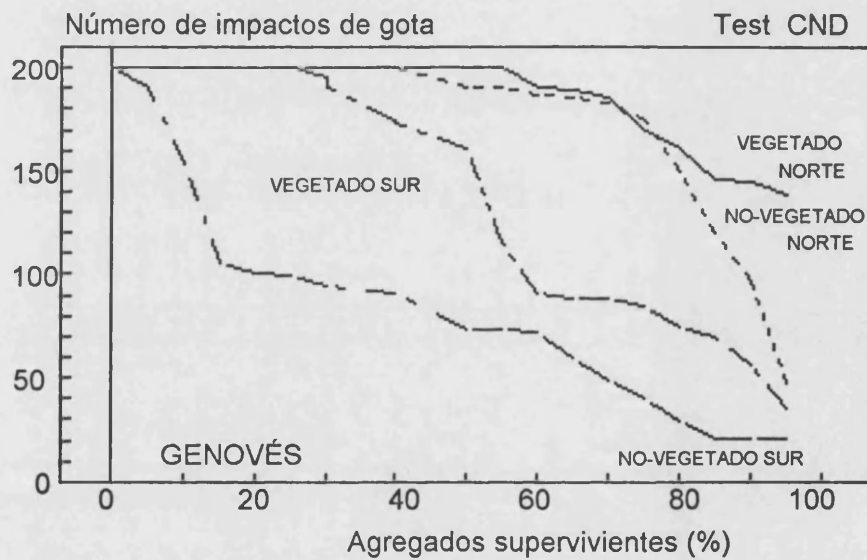


Figura 5.13. Influencia de la exposición y la cubierta vegetal sobre la estabilidad de los agregados en Genovés, suelos sobre calizas del Campaniense. Test CND

Aun más significativo es que el número de experimentos que no producen escorrentía desciende progresivamente desde los 14 de los 16 realizados en *Anna*, a 5 de 29 en *Petrer*, pasando por los 6 de 15 en *Genovés*, a 2 de 12 en *Bolbens*.

El análisis de cada zona de estudio nos demuestra que la alta variabilidad espacial de fc está acompañada por comportamientos muy diferentes de la estabilidad de los agregados, lo que nos puede esclarecer el comportamiento hidrológico de las diferentes subzonas de estudio.

En las cuencas sobre calizas, *Genovés*, el desarrollo edáfico muestra una clara dicotomía entre la ladera norte y la sur, siendo esta última la que presenta agregados menos estables y los suelos con valores de fc menores (ver capítulo 4). Dentro de

cada ladera se tomaron muestras de las superficies vegetadas (matorral) y las no vegetadas (o sólo cubiertas por herbáceas), mostrándonos el análisis de ellas una clara relación positiva entre cubierta vegetal y estabilidad de los agregados, como sucede también entre la primera y la infiltración.

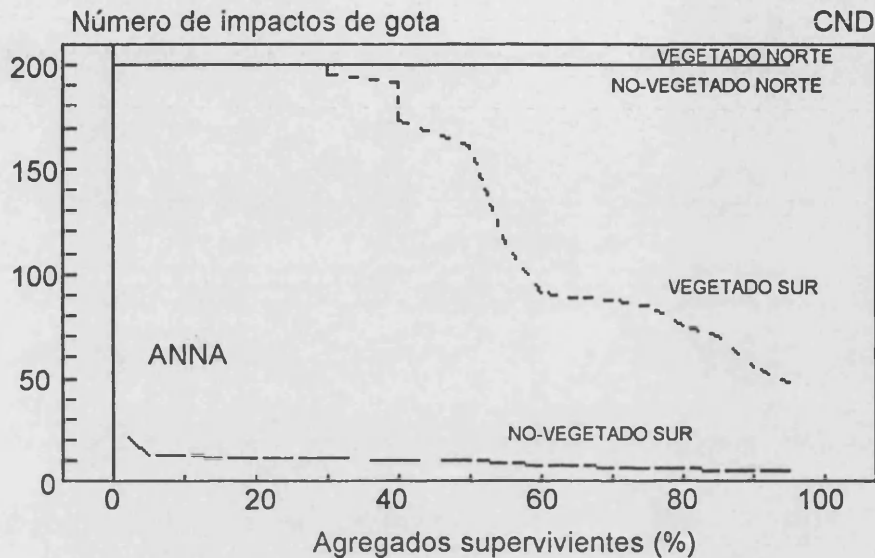


Figura 5.14. Influencia de la exposición y la cubierta vegetal sobre la estabilidad de los agregados. Test CND. Anna, arcillas del Keuper

El mismo análisis se realizó en la cuenca estudiada en Anna, donde se observó una clara diferencia entre la ladera norte (no degradada) y la ladera sur, dominada esta última por procesos de arroyada superficial y movimientos en masa (morfología de *badlands*). En la *ladera norte*, tanto las superficies vegetadas, como las no vegetadas (cubiertas poco densas de herbáceas y musgos), presentaron agregados que eran capaces de sobrevivir a los 200 impactos de gota. En la *ladera sur*, los suelos totalmente desnudos, *Badlands*, tuvieron una muy baja estabilidad de agregados (ver gráfico 5.14), mientras que los suelos con vegetación son mucho más estables. Estas últimas superficies se encuentran esencialmente en la parte alta de la ladera norte, mientras que las desnudas aparecen en la parte media y baja de la ladera sur y en las cárcavas de la parte baja de la ladera norte. Este comportamiento está claramente relacionado con la hidrología de los suelos estudiados (ver capítulo 4).

En los suelos de la cuenca sobre margas de Petrer, aunque la magnitud es diferente debido a la menor estabilidad de los agregados, sí hay una clara relación entre cubierta vegetal y resistencia de los agregados al impacto de las gotas, como se muestra en la figura 4.15 entre las superficies de *Badlands* y las vegetadas. La

excepción más importante la presentan los suelos desarrollados sobre derrubios arenosos del glacis, con cubiertas vegetales del 20 %, ya que son mucho más estables que los suelos vegetados de la ladera norte (80 %), lo que nos informa de la influencia de la litología sobre la estabilidad de los agregados. En este caso no existe una relación positiva con la infiltrabilidad de los suelos, ya que la ladera norte vegetada tienen valores de f_c mucho mayores. Aquí, interviene la influencia de una mayor cubierta vegetal, que favorece la intercepción y absorción de la lluvia, reduciéndose la energía cinética de ésta y el encostramiento del suelo, pero la agregación seguirá siendo más inestable a la de la ladera sur por cuestiones litológicas (derrubios arenosos del glacis).

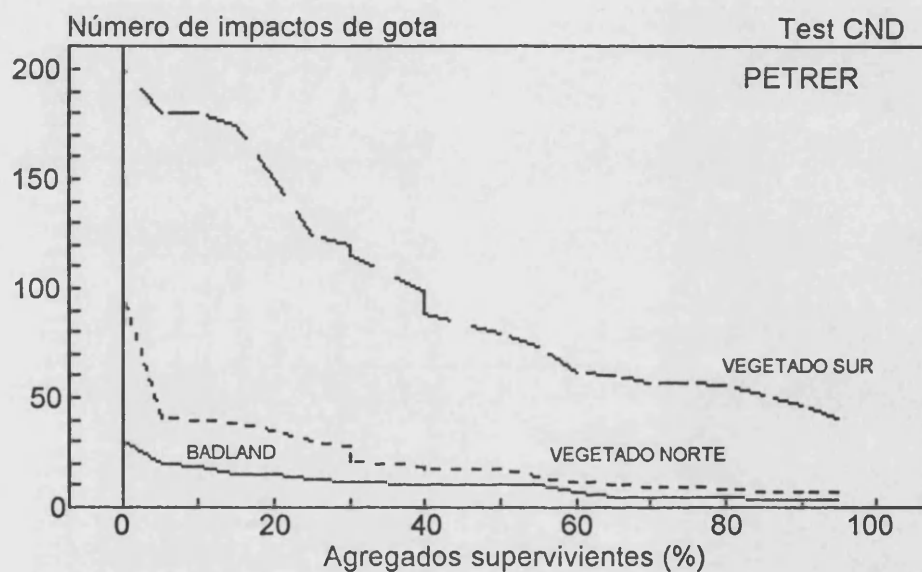


Figura 5.15. Influencia de la exposición y la cubierta vegetal sobre la estabilidad de los agregados, test CND. Petrer, Vegetado norte y badland sobre margas del Senoniense y vegetado sur sobre derrubios arenosos

En el test de la gota (CND), se observa una disminución de la estabilidad de los agregados con el aumento de su contenido en humedad. Excepto en los suelos sobre margas de Petrer, ésta es una característica intrínseca de todos los suelos estudiados. En algunos casos, las diferencias en el comportamiento de los agregados es muy diferente según estén secos o húmedos a pF1, como se demuestra en la figura 5.16. Este comportamiento se puede deber a que el impacto de la gota, cuando el agregado tiene un alto grado de humectación, no produce ningún efecto excepcional, pero cuando está seco, la presión del agua junto al impacto de la gota produce un efecto de aire atrapado que puede terminar en una salida muy rápida de éste (también llamada explosión por algunas investigadores), lo cual destruye los agregados con mayor facilidad. En el caso de los suelos sobre margas de Petrer, nos

encontramos con una situación realmente excepcional, ya que son menos estables los agregados humectados a pF1, lo que se debe a la elevada dispersabilidad de los agregados, como quedó demostrado en el test de Emerson, comentado anteriormente.

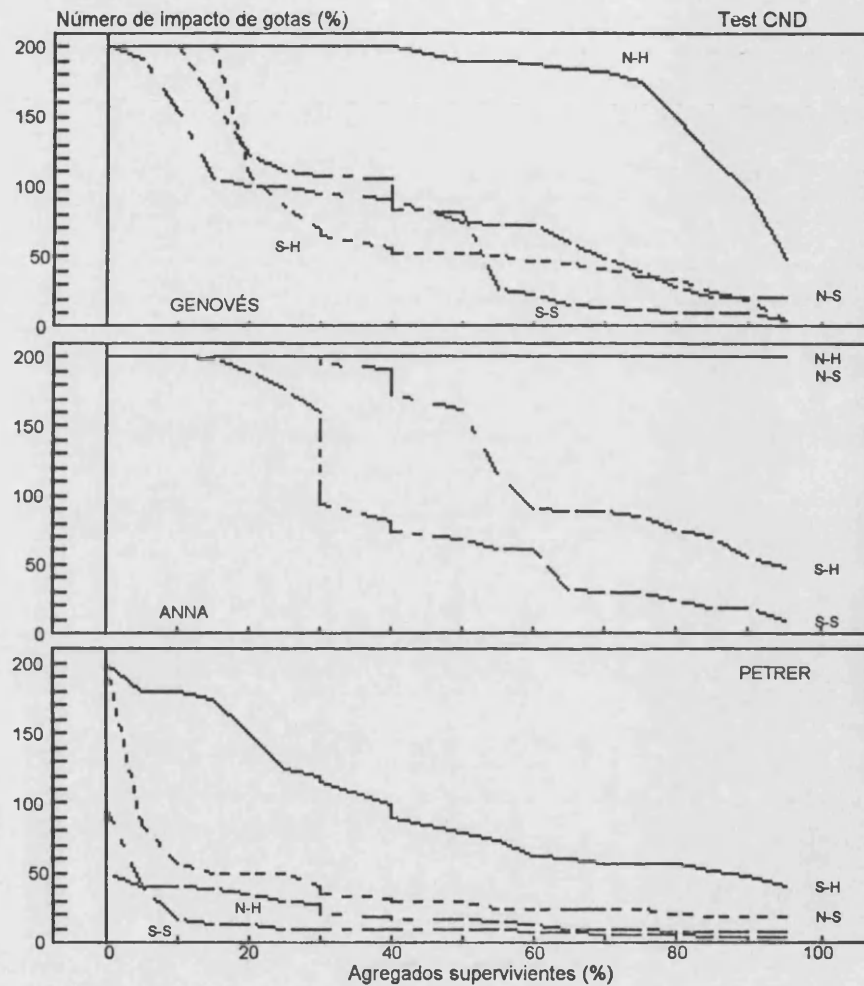


Figura 5.16. Influencia de la humedad en la estabilidad de los agregados en suelos. Test CND. Anna, arcillas del Keuper; Petrer, margas del Senoniense; Genovés, calizas del Campaniense. S-H (agregados de la ladera sur en húmedo), N-H (agregados de ladera norte en húmedo), N-S (agregados de ladera norte en seco), S-S (agregados de ladera sur en seco)

En este aspecto, la relación con la hidrología de los suelos es negativa, ya que un incremento de la humedad supone un aumento en general de la estabilidad de los agregados, pero por contra produce una reducción de la infiltrabilidad y un aumento de la erosionabilidad de los suelos.

b) Experimentos con el test TDI ("Ten Drop Impacts"): relación con el test
CND

El test TDI nos muestra un comportamiento muy dispar entre los suelos de Petrer y el resto de los suelos muestreados, ya que el número de agregados supervivientes tras la aplicación del test (figura 5.17), es mucho menor en el caso de los suelos sobre margas que en los suelos desarrollados sobre otras litologías.

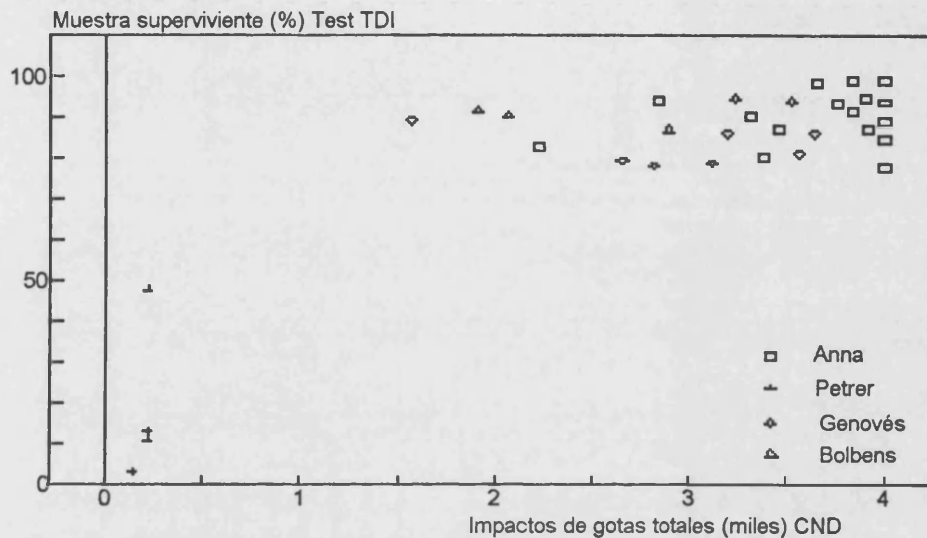


Figura. 5.17. Relación entre el test TDI (impactos totales) y CND (% muestra superviviente), para las cuatro zonas estudiadas con estabilidad de los agregados: Anna, arcillas del Keuper; Petrer, margas del Senoniense y Genovés y Bolbens (incendio), calizas del Campaniense

La relación entre los test TDI y el CND (figura 5.17), nos ratifica que los suelos sobre margas necesitan menos impactos de gotas para ser destruidos. En el caso del test CND, en Petrer, con menos de 300 gotas se destruyen todos los agregados, mientras que el porcentaje de agregados supervivientes al test TDI es siempre menor al 50 %.

Entre las muestra de *Bolbens* y *Genovés*, no se aprecian diferencias muy claras, mientras que en Anna aparecen suelos realmente estables, soportando los 4000 impactos de gota del test CND sin producirse en algunos casos la rotura de los agregados. Entre las tres zonas, Bolbens, Genovés y Anna, no hay una clara distinción debido a que en la figura 5.17 se presentan datos de diferentes superficies estudiadas dentro de las cuencas de drenaje, con características y exposición distintas, si bien como hemos visto antes, para situaciones semejantes la estabilidad de los agregados es diferente para cada zona y tipo de suelo.

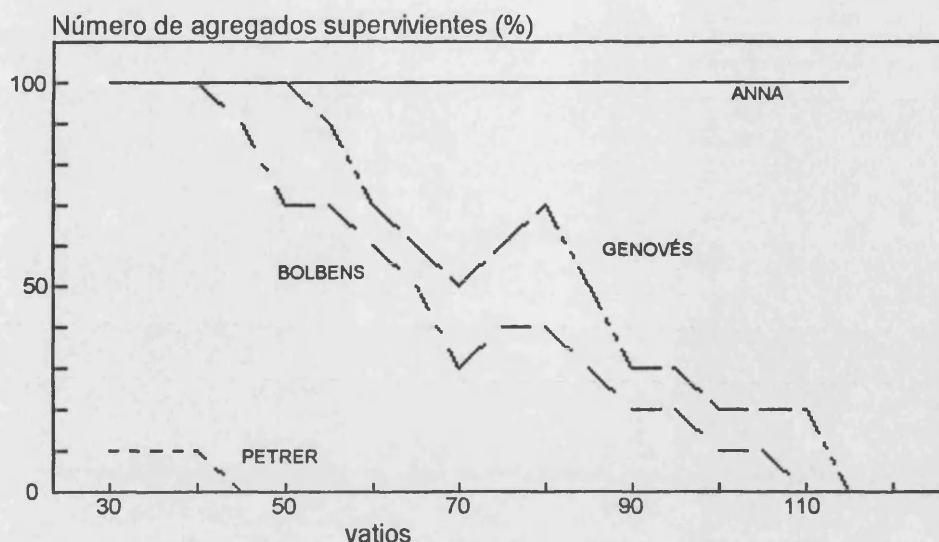


Figura 5.18. Estabilidad de agregados de los suelos de las laderas norte de cuatro zonas de estudio: Anna, arcillas del Keuper; Petrer, margas del Senoniense; Genovés, calizas del Campaniense; y Bolbens suelos incendiados sobre calizas del Campaniense. Test UD

5.4.2.2. *Dispersión por ultrasonidos*

El test UD ratifica en parte los resultados obtenidos con el otro método de medición de la estabilidad de los agregados, el método de la gota. *Anna* se presenta como el suelo más estable, *Petrer* como el más inestable y los suelos sobre calizas en una situación intermedia, siendo los suelos incendiados de *Bolbens* ligeramente más inestables que los de *Genovés*. La figura 5.18 es suficientemente clarificadora de las magnitudes de estabilidad de los diferentes suelos, siendo a partir del umbral de 50 vatios donde encontramos diferencias claras entre los suelos más estables: Genovés y Anna.

La **alta estabilidad** de los agregados de Anna se muestra en la figura 5.19 junto a la de Genovés. Para una intensidad de energía de 55 vatios en los suelos sobre arcillas del Keuper, son necesarios 10 segundos para conseguir la rotura de uno de cada diez agregados, y no es hasta una permanencia de más de 20 cuando se supera un umbral en el cual las roturas son importantes. Respecto a Genovés, podemos decir que los suelos calcáreos tienen una estabilidad menor, ya que para cada nivel de duración del experimento se produce la dispersión de 4-5 agregados más que en la muestra de Anna, mientras que la rotura del 100 % de los agregados se produce 30 segundos antes que en los agregados de los agregados sobre arcillas del Keuper.

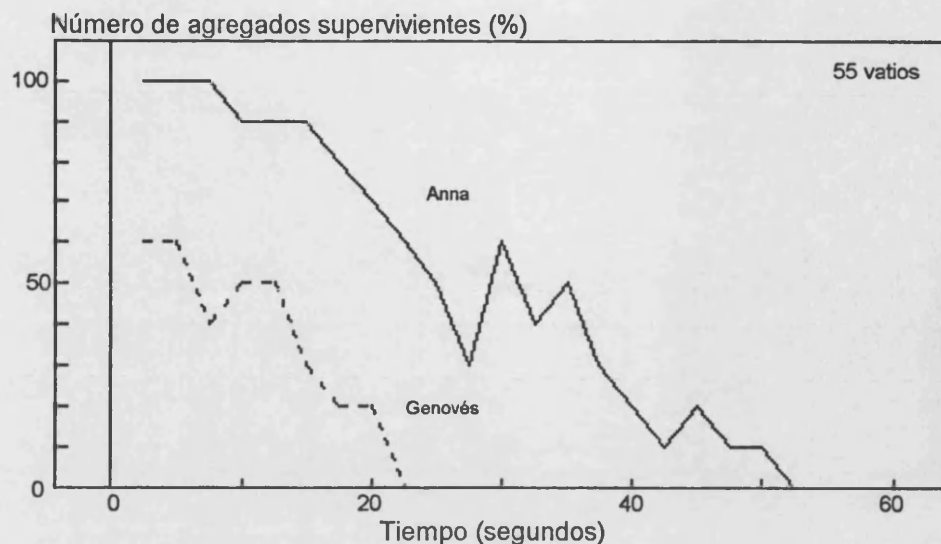


Figura 5.19. Estabilidad de agregados de suelos muy estables en los suelos sobre arcillas del Keuper en Anna y calizas del Campaniense en Genovés. Test UD

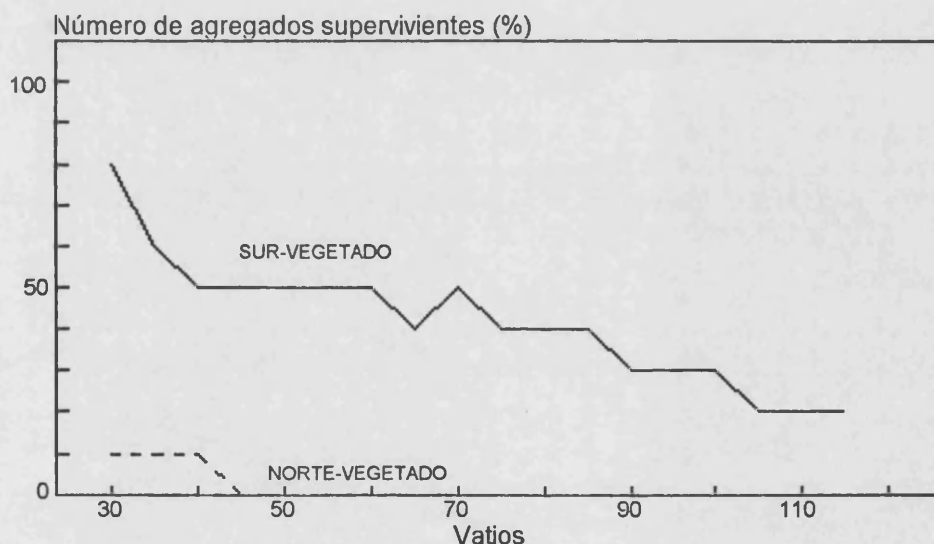


Figura 5.20. Estabilidad de los agregados en Petrer, influencia de la litología, (test UD). Los agregados de los suelos denominados SUR-VEGETADO corresponden a las superficies de derrubios arenosos con coberteras vegetales del 20 %, mientras que en el caso de los suelos del grupo NORTE-VEGETADO se refiere a suelos muy vegetados (> 80 % de cubierta vegetal) pero sobre margas del Senoniense

La influencia de la cubierta vegetal y la exposición sobre la estabilidad de los agregados, como se mostraba en las figuras 5.13, 5.14 y 5.15, es clara, excepto cuando hay diferencias litológicas que explican resultados contrarios, como los mostrados en la figura 5.20, ya comentadas anteriormente para el test CND. Esta excepción de **Petrer**, por la mayor estabilidad de los agregados de la ladera sur

respecto a la ladera norte, se debe esencialmente a alta dispersabilidad de los agregados formados a partir de margas en la ladera norte, mientras que en la ladera sur los agregados formados sobre derrubios arenosos de glaciares son mucho más estables.

5.4.2.3. Estabilidad de las agregados e infiltrabilidad

La relación entre la estabilidad de los agregados y la infiltración, como hemos venido comentando es claramente positiva, y a su vez relacionada con la litología, la exposición, la influencia negativa del fuego y la positiva de la cubierta vegetal y la materia orgánica

En los puntos donde se tomaron muestras para los análisis de la estabilidad de los agregados, se realizaron varios experimentos con lluvia simulada, como se explicó en la metodología y como quedó plasmado en el capítulo 4. El análisis de estos experimentos nos permite verificar la influencia de la agregación del suelo sobre la infiltrabilidad (ver figura 5.21).

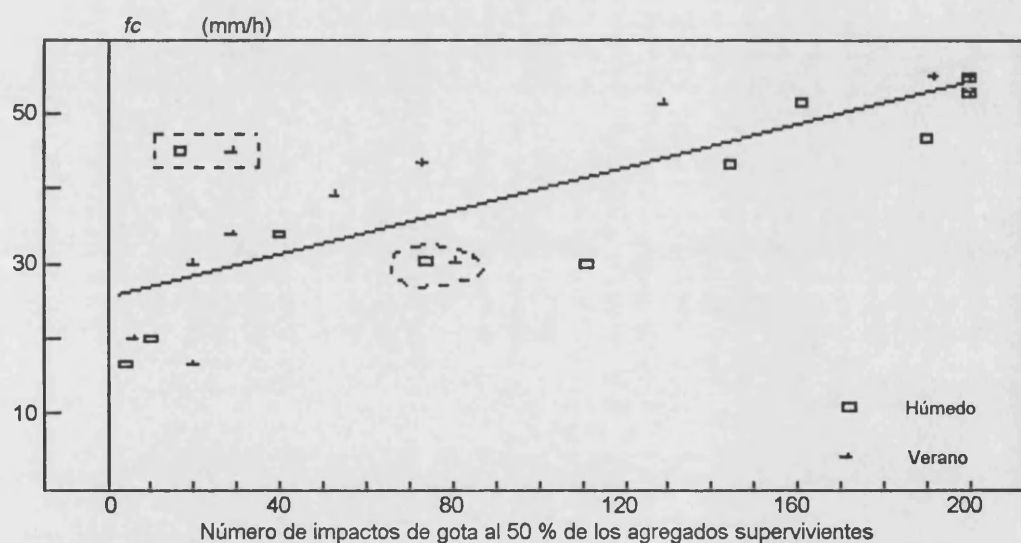


Figura 5.21. Relación entre f_c (tasa de infiltración final estable) y el número de impactos de gota al 50 % de los agregados supervivientes (test CND) en seco y en húmedo. Los valores de f_c son los valores medios presentados por unidades de suelos en el capítulo 4, obtenidas a partir de lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos

En la figura 5.21 se presenta un resumen de los valores medios de la infiltración final estable para periodos secos (verano) y la estabilidad de los agregados en dos situaciones: secos y húmedos a pF1. El parámetro que define esta última característica de los suelos es el número de impactos de gota necesarios para

provocar la rotura del 50 % de la muestra de los agregados. La correlación de ambos parámetros nos muestra una relación positiva, de la cual se ha dibujado una hipotética tendencia. Esto se ha hecho para ilustrar la relación entre los diferentes suelos y ver cual de ellos muestra una separación de la normalidad, y si es posible conocer las razones de ello.

La primera excepción a comentar es que las muestras en húmedo son más estables que en seco, pero en el caso de los suelos sobre margas del Senoniense el comportamiento es inverso, como consecuencia de la fuerte dispersabilidad de los agregados vista al aplicar el test de Emerson. Otro comportamiento excepcional es el de los suelos incendiados, ya que para el nivel que alcanza la estabilidad de los agregados, la tasa de infiltración final estable es unos 10 mm h^{-1} inferior a la que le corresponde (muestras marcadas por un círculo en la figura 5.21). Este comportamiento de los suelos incendiados es debido a la falta de vegetación y al mayor sellamiento sufrido por la superficie de los suelos tras el incendio.

Otra excepción son los suelos vegetados de las laderas norte de Petrer. Estos suelos tienen tasas de infiltración muy altas (ver rectángulo en la figura 5.21) para la baja estabilidad de sus agregados. Esto, como hemos comentado anteriormente, se debe a que los agregados de los suelos margosos son muy inestables por su tendencia a la dispersión, si bien estos suelos, como consecuencia de su exposición norte desarrollan cubiertas vegetales importantes que les permite tener altas tasas de infiltración.

5.4.3. Densidad y porosidad

Estrechamente relacionada con la agregación de los suelos y con su contenido en materia orgánica se encuentra la densidad y porosidad del suelo. Esta característica edáfica tiene una estrecha relación con la infiltrabilidad, ya que el volumen del suelo que está ocupado por materia sólida (densidad) limita las posibilidades de flujo de un líquido a través de él. La relación obtenida con nuestros experimentos entre la densidad y la tasa de infiltración final es positiva, pero la gran dispersión de la muestra nos impide hacer una inferencia estadística entre ambas variables (ver figura 5.22).

Para densidades inferiores a 1 g cm^{-3} , la capacidad de infiltración de un suelo es siempre superior a 40 mm h^{-1} , mientras que los suelos con porosidades inferiores al 45 % tienen, generalmente, tasas de infiltración final estables menores a 30 mm h^{-1} .

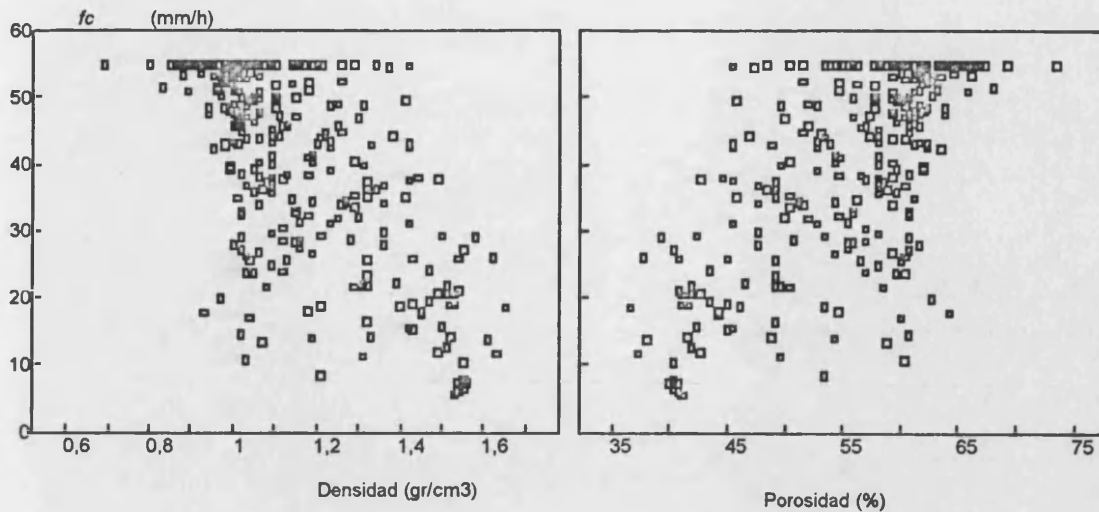


Figura 5.22. Relación entre la densidad del suelo (g cm^{-3}) y la porosidad (%) con f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

5.4.4. Profundidad del suelo

La importancia de la profundidad del suelo ha sido poco estudiada por los investigadores, debido a que esta característica del suelo fue considerada como secundaria en el proceso de infiltración. Esto se debe a que se ha prestado mayor atención a la superficie del suelo, considerándola como la determinante de la infiltrabilidad, especialmente en ambientes semiáridos, donde las costras juegan tan importante papel. Este proceder del mundo científico, ha sido tal vez exagerado, pero bien es cierto que es a través de la superficie por donde se produce inicialmente el paso del agua, y cualquier alteración de ésta puede producir fuertes modificaciones en la infiltrabilidad de los suelos (sellamiento, compactación, roturación, etc.). Pero por otra parte, la profundidad del perfil del suelo determina el volumen de agua potencialmente almacenable, y además las características edáficas básicas (materia orgánica, vegetación, estabilidad estructural, etc.) están claramente en relación directa con la profundidad del suelo. En este último caso, debemos excluir los suelos de gran potencia acumulados por acción antrópica (campos de cultivo) en los que la profundidad suele ser superior a un metro, pero el comportamiento hidrológico responde de una forma muy dispar, según la litología y la edad de abandono (ver apartado 4.5).

En la relación profundidad del perfil-infiltración de los suelos estudiados por nosotros nos encontramos con un rango entre 0-10 cm de profundidad en el que la tasa de infiltración final puede ser desde el 100 % al 10 % de la precipitación, aunque entre 5 y 25 mm h^{-1} (f_c) se encuentran la mayoría de muestras. Para suelos de

mayor profundidad, la infiltración también aumenta, alcanzándose la infiltración total de la precipitación cuando los suelos tienen profundidades de 60 cm. Otras dos características a destacar son la baja densidad de puntos en la zona correspondiente a altas tasas de infiltración y bajas profundidades del suelo (figura 5.23), así como la existencia de suelos con profundidades de 1 m o mayores que tienen tasas de infiltración mayoritariamente superiores a 50 mm h^{-1} . Esto se debe a que siempre son suelos antrópicos, campos de cultivo, que al ser abandonados pueden sufrir diferentes procesos: encostramientos, revegetación, incendios, etc. (ver apartado 4.5), que dan lugar a una mayor diversidad en la morfología y en la hidrología.

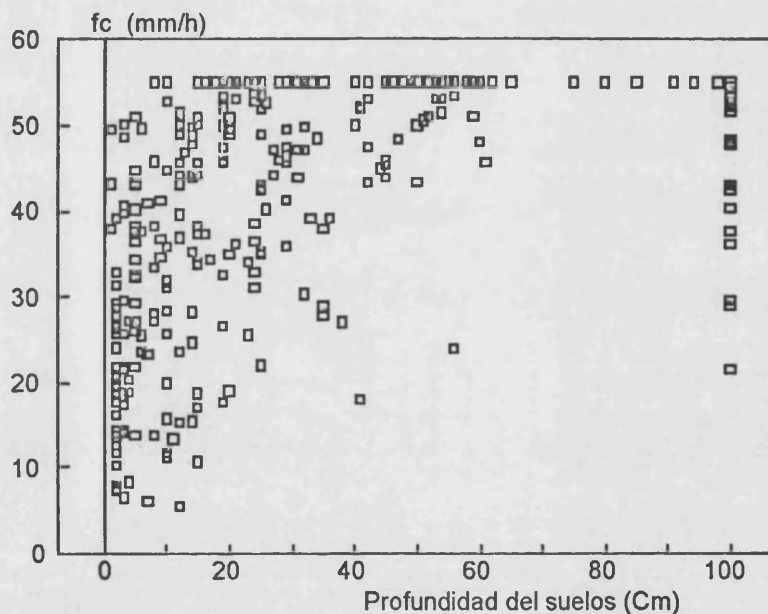


Figura 5.23. Relación entre la profundidad de los suelos y f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

* * *

Respecto a las propiedades físicas del suelo, y en concreto de la **textura**, podemos decir que se ha detectado una relación positiva entre la infiltración y el contenido de **arenas**, y que los **limos** y **arcillas** presentan tendencias negativas, aunque la elevada dispersión de la muestra y comportamientos especiales, como los suelos sobre arcillas del Keuper con una alta infiltrabilidad y contenidos superiores al 50 % de arcillas, explican la imposibilidad de inferencia estadística.

La estructura del suelo, medida a partir de la **estabilidad de los agregados**, se ha mostrado muy bien relacionada con la infiltración (f_c), si bien los valores de este

último parámetro eran valores medios de distintas mediciones, lo que mejoraba la correlación. Tan sólo el inestable comportamiento de los agregados de los suelos sobre margas del Senoniense con una reducida estabilidad a pesar de elevadas cubiertas vegetales y altas infiltrabilidades, y la menor infiltrabilidad de los suelos incendiados respecto a la tendencia normal, son excepciones a destacar en este aspecto.

Tanto la porosidad como la densidad de los suelos tienen claras relaciones con la infiltrabilidad, la primera positiva y la segunda negativa, siendo de destacar la elevada dispersión de la muestra. La profundidad del suelo es un factor positivo, aunque se puede apreciar que puntualmente son las costras superficiales, especialmente en los suelos de origen antrópico, las que condicionan la hidrología superficial de los suelos.

El comportamiento de la infiltración ante las propiedades físicas de los suelos refleja una reducida influencia de la textura, aunque esto sea contrario a los resultados de otros autores (ver apartado 5.2). En cambio la estructura es un factor relacionado positivamente, como reiteradamente se ha comprobado (IMESON y VERSTRATEN, 1989), al igual que sucede con la porosidad.

5.5. Propiedades químicas de los suelos: materia orgánica y carbonato cálcico

La influencia de la materia orgánica sobre la infiltración está basada en que ésta favorece el almacenamiento del agua por su alta porosidad, así como por las modificaciones que introduce en el suelo, al mejorar la estructura, aumentar la cubierta vegetal, reducir de la densidad, etc., lo que contribuye al desarrollo de un suelo con aptitudes favorables a la infiltración. En los suelos estudiados, el contenido de materia orgánica presenta una clara relación positiva con la infiltrabilidad (ver figura 5.24).

En general, se puede observar una relación exponencial entre f_c y el contenido de materia orgánica, lo que en parte es fruto de la interrelación de factores que actúan en una misma dirección. Esto es, características edáficas, como cubiertas de plantas y estabilidad de los agregados están directamente relacionadas con la infiltrabilidad de los suelos, favoreciendo un efecto multiplicador que se ve reflejado en la figura 5.24.

Como en otros factores vistos anteriormente, la inexistencia, o reducida presencia de materia orgánica no influye sobre las tasas de infiltración de una forma excluyente, ya que, como podemos ver en el gráfico 5.24, suelos con contenidos en

materia orgánica inferiores al 0,5 % pueden tener desde muy bajas hasta muy altas tasas de infiltración, incluso ser capaces de absorber toda la precipitación como sucede en los suelos degradados con grietas muy profundas. En cambio, lo que si es evidente es que los suelos con un alto contenido en materia orgánica responden siempre con una elevada capacidad de absorción de las precipitaciones. Exceptuando dos casos, debido a la hidrofobia de la materia orgánica, con tan sólo un 2 % de materia orgánica todos los casos estudiados presentan valores de f_c superiores a 25 mm h^{-1} , mientras que con un 4 % los suelos alcanzan los 40 mm h^{-1} de valor mínimo.

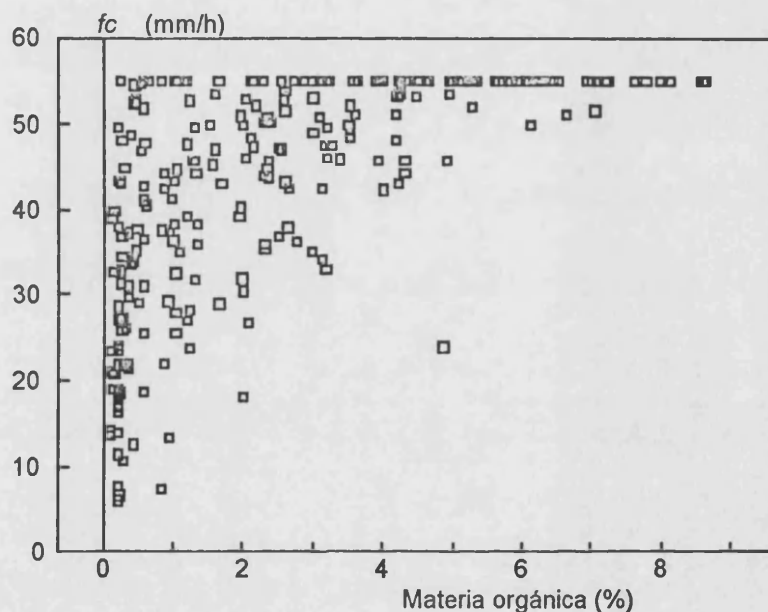


Figura 5.24. Relación de la materia orgánica con f_c (tasa de infiltración final estable) Datos obtenidos a partir de 274 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

El contenido de **carbonato cálcico**, como se explicó en los antecedentes de la investigación, ha sido encontrado como un factor que puede favorecer o reducir la infiltrabilidad según el tipo de suelos, por lo que su influencia sobre el proceso de infiltración es complejo. Podemos diferenciar entre (ver figura 5.25):

- Suelos sobre areniscas del Bundsanstein y calizas del Campaniense (suelos producto de la descalcificación). Tienen, por regla general, contenidos inferiores al 10 % de carbonato cálcico, con la excepción de Pedralba y algunos suelos de Bolbens y Genovés con costras superficiales que pueden dar lugar a niveles ligeramente superiores. En este grupo también se incluirán los suelos desarrollados sobre arcillas del Keuper, ya que sus niveles de carbonato cálcico

son muy bajos, aunque también puntualmente el afloramiento de materiales calcáreos o contaminación de éstos da lugar a contenidos intermedios de CaCO_3 .

- Suelos sobre margas, los cuales exceptuando algún caso tienen contenidos mayores al 50 % de CaCO_3 . El 90 % de las muestras presentan niveles entre 60 y 80 % de carbonato cálcico, lo cual nos lleva a clasificar estos suelos como muy encostrables.

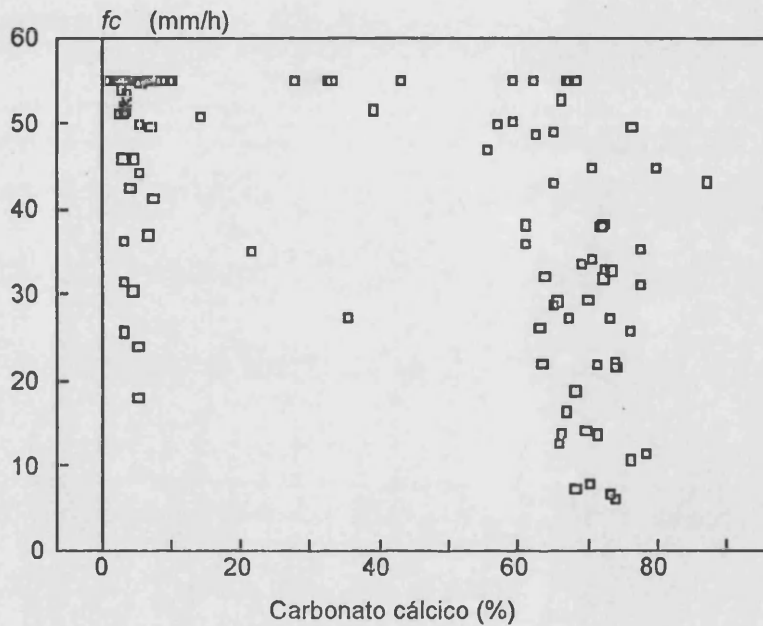


Figura 5.25. Relación entre el contenido de carbonato cálcico y f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 113 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

La influencia del carbonato cálcico sobre el proceso de infiltración no está claro, en parte porque depende del tipo de suelos, de la cantidad en que forme parte del suelo, etc., (ver capítulo 2). Pero es evidente, que las bajas tasas de infiltración sólo se producen en el caso de los suelos desarrollados sobre margas del Senoniense, concretamente sobre las superficies de Badlands.

* * *

La materia orgánica, se ha mostrado como una característica positiva para la infiltrabilidad de los suelos, como ya sucediera con la cubierta vegetal. Para contenidos bajos de materia orgánica, no se puede hacer ningún tipo de inferencia

estadística debido a que la dispersión de la muestra, ya que suelos con contenido de materia orgánica inferior al 1 % bien puede tener una muy elevada tasa de infiltración (100 % de la precipitación) o bien puede esta con valores inferiores a 10 mm h^{-1} . En suelos con contenidos elevados de materia orgánica (2-3 %) la infiltrabilidad es muy alta en todos los casos.

En cuanto al carbonato cálcico, el comportamiento es inverso, los suelos con elevados contenidos de CaCO_3 , son más susceptibles de ofrecer bajas tasas de infiltración, como consecuencia de su tendencia al escostramiento.

5.6. Factores dinámicos: precipitación y humedad

Se ha dedicado un apartado especial a la influencia del agua sobre el proceso de infiltración, debido a que la alteración de las tasas de absorción son fruto de las modificaciones del "input" (precipitación), así como del agua previamente almacenada en el suelo (humedad). Ambos factores se han reconocido como muy dinámicos debido a su elevada variabilidad temporal y estacional.

La influencia de la precipitación sobre la respuesta hidrológica de los suelos se debe a que el almacenamiento del agua infiltrada en el suelo altera el contenido de humedad de éste, y consiguientemente el proceso de infiltración, como se explicó en el capítulo 2 y como se ha visto repetitivamente en los resultados de los experimentos con lluvia simulada (capítulo 4). La característica intrínseca del proceso de infiltración: la caída asintótica de las tasas de agua absorbida por el suelos, es una consecuencia del aumento del agua del suelo y con ello de la reducción de los poros libres y de su capacidad de almacenamiento.

5.6.1. Influencia de la humedad sobre la infiltrabilidad de los suelos

La humedad previa del suelo, exceptuando los suelos hidrófobos, helados, o encostrados que a lo largo del proceso de infiltración pierden estas características es entendida por toda la comunidad científica como un factor negativo, debido a que ocupa espacio poroso que no podrá estar a disposición del agua nueva o infiltrada.

El que la humedad previa sea un factor del comportamiento hidrológico de los suelos (negativo para la infiltración y positivo para la escorrentía) es difícil de vislumbrar cuando se comparan los parámetros h_s , h_{ss} o h_m , con el valor de f_c en los distintos experimentos realizados, ya que en estos casos intervienen multitud de factores que alteran la hipotética relación. Esto nos hizo diseñar un tipo de

experimentos que nos permitiera conocer de forma inductiva la influencia de la humedad.

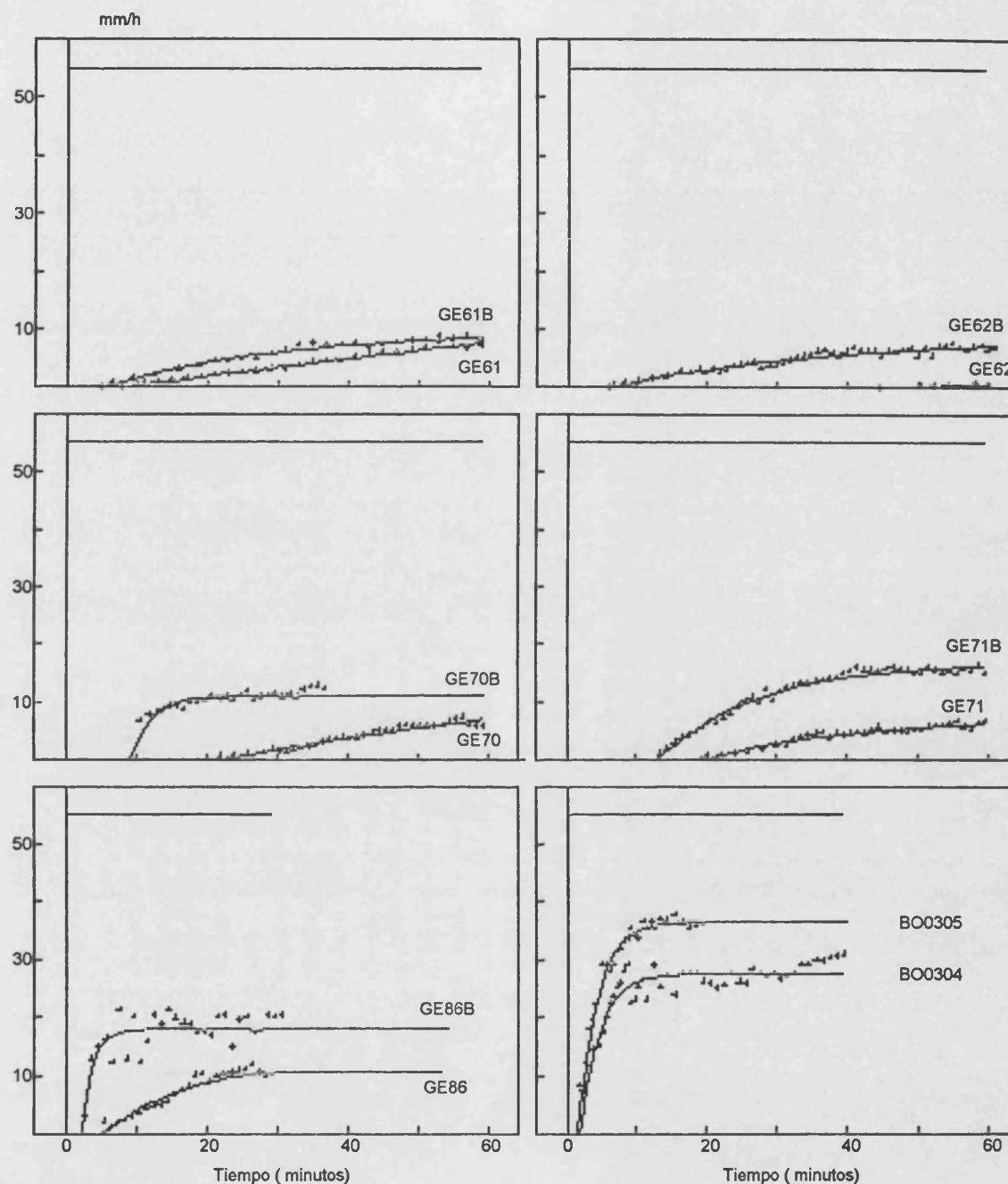


Figura 5.26. Respuesta hidrológica de seis suelos en Genovés y Bolbens en estados de humedad previos distintos según se muestra en la tabla 5.2. Datos obtenidos a partir de la repetición de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos humectados por una prueba previa. GE60, GE61, GE70, GE71, GE86 y BO0304 fueron los experimentos estándar previos y GE60B, GE61B, GE70B, GE71B, GE86B y BO0305 son las pruebas realizadas 24 horas después, todos con la misma intensidad (55 mm h^{-1}). En el caso de los experimentos de Genovés (GE) además de la lluvia simulada previa hay que añadir una precipitación natural de 15 mm . En el caso del único suelo de Bolbens (BO) el segundo experimentos se realizó 12 horas después. B, segundo experimento en seco

5.6.1.1. Alteraciones de la infiltrabilidad de los suelos ante los cambios de la humedad previa de los suelos

La importancia de la humedad en la determinación de las capacidades de infiltración de los suelos nos ha llevado a un diseño experimental específico, como ya ocurrió en el caso de la pedregosidad. En los cinco experimentos de Genovés (GE), el diseño experimental ha consistido en la realización de una prueba con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) el día 10 de agosto de 1991, de una hora de duración, el cual fue repetido al día siguiente (24 horas después) tras una precipitación natural durante la noche de 15 mm, mientras que en el caso de Bolbens (BO), tan sólo se repitió el experimento 12 horas después, el mismo día pero sin precipitación natural. Este segundo experimento recibe el mismo nombre que el primero, pero se le añade al último dígito la letra B, como ya explicamos en el apartado metodológico (ver gráfico 5.26 y tabla 5.2). Otra diferencia es que en el caso de Bolbens el experimento fue realizado en noviembre de 1990, por lo que la humedad previa es muy alta ($> 10 \%$). Este tipo de experimentos se basan por lo tanto en la modificación de la humedad previa mediante el input de la lluvia, simulada y natural, pero además dejando tiempo a que se modifique la distribución espacial del agua dentro del perfil, lo que favorecerá el hinchamiento de las arcillas y la saturación de mayor cantidad de poros.

Como resultado de estos doce experimentos específicos tenemos la información ofrecida por la tabla 5.2, la cual nos muestra cómo la humedad se ha multiplicado casi por diez en los suelos de Genovés (verano) y por tres en Bolbens (otoño). Además, se puede ver en todos los casos un aumento de la tasas de escorrentía media, tres veces superior en el caso de los suelos de Genovés y sólo un 15 % mayor en el suelo húmedo de Bolbens.

Este comportamiento hacia la reducción de la absorción del agua con la humectación del suelo se confirma con el resto de parámetros hidrológicos, aunque afecta especialmente a la curva de escorrentía, pasando de un valor medio de $0,025 \text{ min}^{-1}$ en los suelos secos, a $0,234 \text{ min}^{-1}$ en los suelos húmedos, mientras que en el caso de Bolbens la elevada humedad previa hace que los cambios sean menores (de $0,35$ a $0,36 \text{ min}^{-1}$), siendo la pendiente mayor en ambos casos a la media de los hidrogramas medidos en Genovés. La tasa de infiltración final estable (f_c), por el contrario, es el parámetro menos alterado por la humedad previa, aunque en todos los casos se produce una reducción, que en el caso de Bolbens es de un 33 %, y en el de los cinco suelos de Genovés es del 16 %.

			SUELOS HÚMEDOS				
	<i>hs</i> %	<i>hss</i> %	<i>Esm</i> mm h ⁻¹	<i>Ce</i>	<i>Ce25</i>	α min ⁻¹	<i>fc</i> mm h ⁻¹
GE61	2,13	4,32	3,45	0,06	0,12	0,00	47,43
GE62	2,10	3,67	0,09	0,00	0,01	0,00	46,21
GE70	2,11	3,78	2,44	0,04	0,11	0,01	43,79
GE71	3,21	3,45	2,72	0,05	0,11	0,04	47,39
GE86	2,13	5,12	6,01	0,11	0,22	0,08	42,47
BO0304	8,18	11,91	24,35	0,44	0,53	0,35	27,47

			SUELOS SECOS				
	%	%	mm h ⁻¹			min ⁻¹	mm h ⁻¹
GE61B	21,03	14,02	5,20	0,09	0,15	0,04	45,12
GE62B	19,02	13,89	4,26	0,08	0,12	0,03	32,89
GE70B	23,12	18,09	9,50	0,17	0,22	0,33	37,87
GE71B	21,76	13,28	9,38	0,17	0,28	0,07	38,14
GE86B	21,32	16,29	16,38	0,31	0,38	0,70	37,09
BO0305	24,37	23,95	28,83	0,52	0,66	0,36	18,47

Tabla 5.2. Respuesta hidrológica de doce experimentos sobre seis suelos en Genovés y Bolbens con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹). El diseño experimental consistió en la realización de una prueba normal: GE60, GE61, GE70, GE71, GE86 y BO0304, también denominadas como experimentos previos, para 24 horas después repetir el mismo experimento: GE60B, GE61B, GE70B, GE71B, GE86B y BO0305 sobre el mismo suelo. En el caso de los experimentos de Genovés (GE) además de la lluvia simulada previa hay que añadir una precipitación natural de 15 mm. En el caso del único suelo de Bolbens (BO) el segundo experimento se realizó 12 horas después. B: segundo experimentos, en húmedo, *hs*: humedad superficial (0-2 cm), *hss*: humedad subsuperficial (2-4 cm)

Los hidrogramas muestran cómo la precipitación previa y con ello la humedad antecedente condicionan totalmente la infiltración (ver tabla 5.2 y figura 5.26), tanto en la forma de la curva como con el volumen total infiltrado, e incluso la tasa de infiltración final estable. También los mayores contenidos de humedad de los suelos favorecen la rápida formación de la escorrentía, además de *tp* incipientes (apéndice F).

En general, podemos decir que el aumento de la humedad del suelo como consecuencia de la precipitación previa, produce volúmenes de escorrentía mayores al reducirse el número de poros libres. Así tenemos que los caudales se generan con mayor rapidez, se estabilizan muy pronto y la forma de la curva de escorrentía tiene mucha más pendiente (valores de α mayores). Además, estas alteraciones hidrológicas introducidas por la precipitación dan lugar a una reducción de *fc*, aunque menor al resto de parámetros, lo que nos sugiere que este parámetro no es definitorio

de un suelo, sino de un suelo con una determinada humedad, lo que supone variaciones espaciales y temporales muy importantes a lo largo del año.

5.6.1.2. Distribución espacial de la humedad e infiltrabilidad de los suelos

Como ya se ha comentado anteriormente, si bien la influencia de la humedad del suelo sobre la infiltración es claramente negativa, cuando se hace un estudio deductivo, los resultados, contrariamente a lo esperado, son positivos o al menos no negativos.

Como muestran los gráficos de la figura 5.27, y como ya ocurría con otros factores (léase materia orgánica, cubierta de plantas, musgos, etc.), con bajos contenidos de humedad la infiltración puede variar entre el 100 % de la precipitación y valores inferiores al 5 %. Pero, los suelos con contenidos elevados de humedad para el verano, estación en la que se realizaron todos los experimentos aquí tratados, tienen sólo altas tasas de infiltración final estable.

5.6.2. Influencia de la intensidad de la precipitación sobre la infiltrabilidad de los suelos

Pero la influencia de la precipitación no sólo se restringe a la cantidad de ésta que penetra y se almacena en el suelo y con ello altera la respuesta hidrológica. También la precipitación condiciona la infiltración, dependiendo de su intensidad como se muestra en la figura 5.27. A lo largo de la exposición de los resultados del estudio y de la revisión de los factores de la infiltración (capítulos 4 y 2 respectivamente) se hizo referencia a que un aumento de la intensidad de la precipitación hubiera modificado la respuesta hidrológica de los suelos, haciendo que fuera más contrastada. Una demostración de que la intensidad de la lluvia puede favorecer un comportamiento diferente de los suelos es presentado a continuación. Las pruebas fueron realizadas siguiendo un diseño experimental basado en la modificación de la intensidad de lluvia tras la estabilización de escorrentía, con la intensidad utilizada previamente. Este tipo de experimentos, como los vistos anteriormente con modificaciones de la humedad previa, se distinguen por la letra B (ver apéndice G).

A partir de nuestros experimentos con distintas intensidades se ha comprobado que la alteración de la intensidad de la precipitación supone una modificación de la

infiltración final o estable. Generalmente se produce un aumento del valor del parámetro f_c , aunque puntualmente se ha medido una reducción.

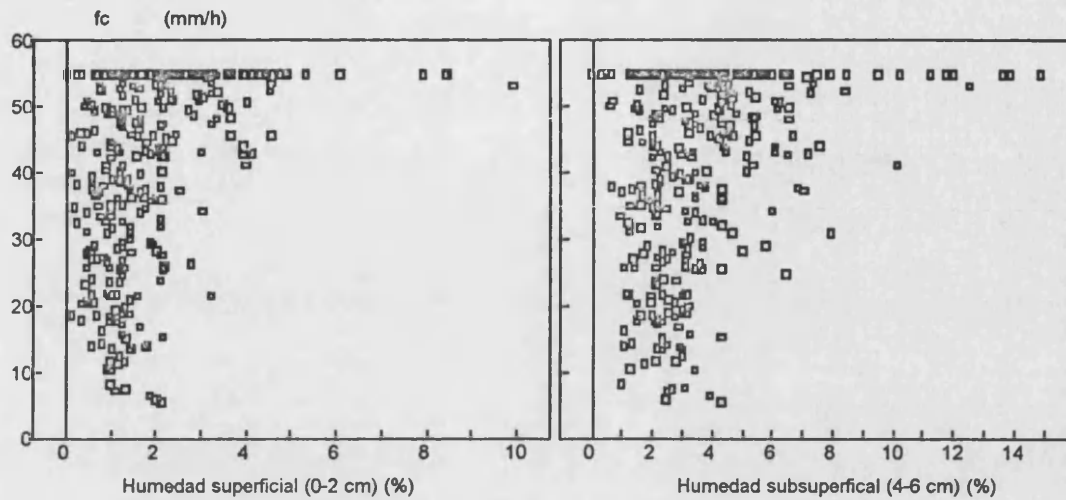


Figura 5.27. Relación entre la humedad de los suelos a distintas profundidades y f_c (tasa de infiltración final estable). Datos obtenidos a partir de 335 experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (verano) de las diez zonas de estudio seleccionadas

Concretamente de los 29 casos estudiados, sólo tres responden mediante la reducción de la tasa final de la infiltración, f_c , con el aumento de la intensidad de la lluvia, los cuales corresponden a un suelo incendiado y dos a superficies de Badlands.

En el primer caso, aumento de la infiltración con la intensidad, se produce normalmente en suelos vegetados, pero también en suelos degradados, siendo por lo tanto una respuesta mayoritaria.

Se han tomado dos ejemplos de cada uno de estos grupos o casos para ofrecer una explicación más clara de la influencia de la intensidad de la precipitación sobre la infiltración. Estos ejemplos, responden a dos experimentos realizados sobre suelos con altos niveles de humedad (PR0207B en enero de 1991, y PE0502B en diciembre de 1990). El primer caso, PR0207B, corresponde a un suelo sobre margas del Senoniense en una ladera norte, con una importante cubierta vegetal, siendo uno de los suelos estudiados en la zona con mayor capacidad de infiltración (fotografía 3.27). El segundo caso, corresponde a un suelo incendiado cuatro meses antes, con una cubierta superficial de cenizas húmedas y compactadas por las lluvias del otoño anterior (fotografía 3.50).

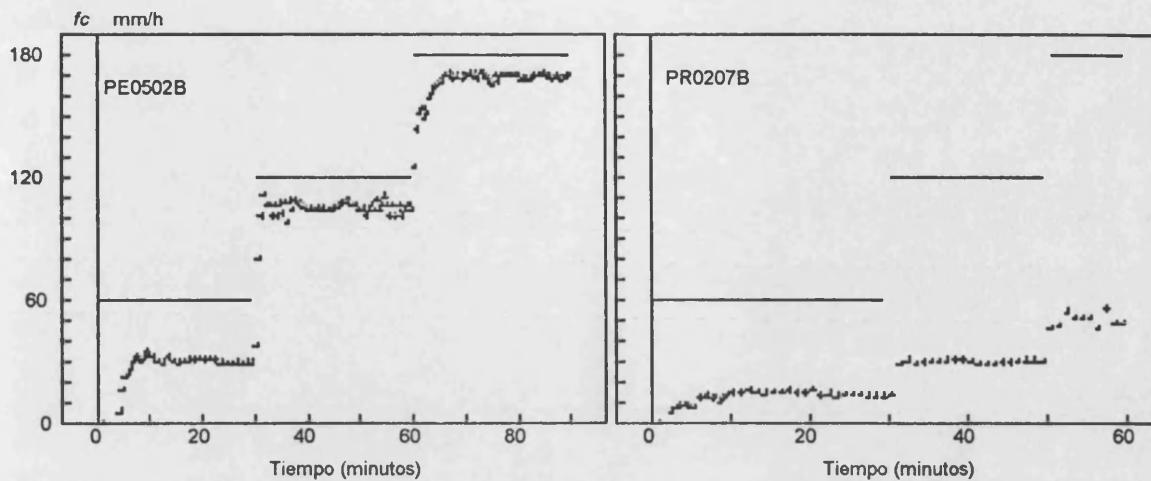


Figura 5.27. Respuesta hidrológica contrastada de dos suelos ante distintas intensidades de lluvia ($60, 120$ y 180 mm h^{-1}). PE0502B, ejemplo de suelo sobre conglomerados calcáreos (Pedralba), húmedo y muy degradado como consecuencia de la alteración del suelos tras un incendio forestal, en el cual se reduce la tasa de absorción de agua con el aumento de la intensidad de la lluvia. PR0207, ejemplo de suelos vegetado sobre margas del Senoniense en estado muy húmedo, con una relación positiva entre la tasa de infiltración y la intensidad de la lluvia

En el caso de Petrer (PR0207B), el aumento de la intensidad supone un aumento de la escorrentía, pero también del valor de la infiltración, lo que se explica por que intensidades mayores generan encharcamientos mayores y zonas saturadas que favorecen la infiltración a la vez que el flujo por macroporos, pueden funcionar con mayor eficacia (ver figura 5.27). En el caso del suelo incendiado de Pedralba (PE0502B), la característica esencial es que al estar desprotegido de vegetación, el aumento de la intensidad de la lluvia supone un aumento de la energía cinética de ésta, que afecta directamente al suelo, lo que favorece la compactación de la capa superficial de éste, y con ello se produce una progresiva reducción de la infiltración con el aumento de la intensidad de la lluvia y el sellamiento del suelo. El proceso visto en el suelo vegetado, aquí no se produce debido a la baja capacidad de infiltración, fruto del encostramiento de las cenizas superficiales y de los altos niveles de humedad.

Estos dos comportamientos contrastados son tipificadores de las alteraciones provocadas por la intensidad de la lluvia sobre la hidrología del suelo al reducir o aumentar el agua infiltrada (ver figura 5.3). En todos los casos, se produce un aumento de la escorrentía, lógico con el aumento de la intensidad de la lluvia, si bien esto es más evidente en los suelos encostrados y degradados. Por otra parte, las

superficies más abundantes son las que responden al primer modelo (PR0207B), mientras que el segundo (modelo PE0502B) se restringe tan sólo a suelos degradados (Badlands, incendios, compactados, etc.), en situaciones de máxima humedad, con niveles cercanos a la saturación de todos los subambientes de la parcela, y en los que un aumento de la intensidad de la lluvia supone un mayor índice de sellamiento del suelo.

Este comportamiento del decrecimiento de la infiltración con el aumento de la intensidad de la lluvia es poco importante superficialmente en los suelos del País Valenciano, ya que se reduce a zonas degradadas, y lo es además temporalmente, ya que este proceso sólo se ha detectado en los suelos incendiados y degradados durante los periodos de máxima humedad, y no siempre. Por lo tanto, el aumento de la intensidad de la precipitación provocaría un aumento de la infiltración, y una reducción de los coeficientes de escorrentía, al tiempo que generaría escorrentías mayores.

Esto nos confirma los resultados obtenidos con el uso del infiltrómetro de cilindro, método en el que la precipitación es la máxima posible, siendo en estos casos los valores de f_c mayores en 8,1 veces al de la infiltración medida con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}).

Este comportamiento de los suelos ante las diferentes intensidades de precipitación nos induce a pensar que con unas mayores intensidades de lluvia las diferencias entre los suelos serían más claras, y con ello el estudio de los factores más factible.

* * *

El análisis mediante el método deductivo de la influencia de la humedad del suelo nos ha permitido demostrar que éste no sirve para conocer el comportamiento de la infiltración ante suelos con distintas humedades previas. Esto se debe a que los suelos con mayores humedades durante las estaciones secas son los suelos más estables, por lo que se podría relacionar de forma positiva infiltración y humedad del suelo, lo cual es totalmente incierto. Como hemos demostrado con el método inductivo, y como veremos en el siguiente capítulo, un aumento de la humedad del suelo produce una reducción de la infiltración, comportamiento por otra parte conocido desde los primeros estudios teóricos, luego confirmado por estudios empíricos (TISDALL, 1951).

Respecto a la influencia de la intensidad de la precipitación, ha quedado bien claro que en términos generales un aumento de esta, favorece hidrogramas con

mayores escorrentías, pero también mayores valores de f_c (tasa de infiltración final estable) y C_e (coeficientes de escorrentía). Sólo puntualmente en suelos muy húmedos y degradados, Badlands o superficies recientemente incendiadas y encostradas, se encuentran reducciones de la capacidad de infiltración y un fuerte aumento de la escorrentía con el aumento de la intensidad.

5.7. Interrelación de factores en el proceso de infiltración

El efecto multiplicativo de los distintos factores positivos (vegetación, materia orgánica, estabilidad, etc.) hace que a altas cubiertas vegetales correspondan altas o muy altas tasas de infiltración, mientras que a bajas cubiertas la respuesta es muy variable.

Este comportamiento de la infiltración y sus factores hace que con el método deductivo en ocasiones no se pueda esclarecer la relación entre ellos, o que los resultados no sean reales, por lo que será necesario recurrir a análisis inductivos, como ha sucedido con la humedad del suelo.

La relación entre los factores y la infiltración está basada en una fuerte interrelación entre éstos, ya que las características de los suelos están claramente relacionadas entre sí. Por ejemplo, la porosidad depende de la materia orgánica, ésta de la vegetación y a su vez todas están claramente determinadas por las restantes, como ocurre con la estabilidad estructural, la cual como hemos visto está influenciada por la humedad, exposición del suelo, litología, etc.

El efecto multiplicativo de los distintos factores, fruto de la interrelación de éstos, hace que las relaciones lineales o exponenciales, y la modelización de éstas sean muy complicadas, ya que el ecosistema suelo funciona como un sistema multivariante y por ello la variabilidad de su comportamiento es muy elevado (ROGERS *et al.*, 1964; IMESON, 1984).

6. VARIABILIDAD DE LA INFILTRACIÓN

El proceso hidrológico de la infiltración está caracterizado por su complejidad y elevada variabilidad, la cual puede ser entendida en tres sentidos:

- **Espacial:** diferencia entre dos o más mediciones en distintos puntos del espacio, aunque en nuestro análisis también se hace referencia a las variaciones entre zonas de estudio, laderas, tramos de laderas o unidades de suelos y ambientes particulares.

- **Estacional:** cambios en las tasa de infiltración de una estación a otra. En nuestro clima, caracterizado por la aridez estival, se ha tendido a diferenciar entre los periodos secos o veraniegos, y los periodos húmedos que abarcarían las estaciones de primavera, otoño e invierno. En todos los casos, se ha intentado evitar los experimentos en mayo y septiembre, debido a que en ocasiones se encuentran situaciones dispares.

- **Temporal:** hace referencia a los cambios de la tasa de infiltración (forma de la curva) durante un experimento, siendo de gran interés el que como veremos más adelante, ésta se modifique tanto espacialmente como estacionalmente.

6.1. Variabilidad espacial

La distribución espacial de las tasas de infiltración determinan la producción de escorrentía en las laderas, en los cauces de órdenes bajos y en las redes secundarias de la hidrografía. Por ello, la caracterización de la variabilidad espacial de la infiltración a escalas grandes (métrica o menor), además de explicarnos cómo se produce la infiltración en los suelos, puede servirnos para intuir un comportamiento globalizado de la hidrología de las laderas, así como discriminar entre los distintos paisajes estudiados según su comportamiento hidrológico.

El análisis de la variabilidad espacial de la infiltración se ha realizado principalmente para las pruebas con lluvia simulada, aunque se ha recurrido a los datos obtenidos con infiltrómetro de cilindro para completar la información presentada. En todos los casos, los experimentos con lluvia utilizados en los siguientes análisis son pruebas de intensidad estándar (55 mm h^{-1}) y duraciones superiores a 30 min, de entre las cuales sólo se han elegido los que se realizaron sobre suelos con humedades muy bajas, es decir, experimentos realizados en los meses de julio y agosto, periodos de los cuales se tiene un mayor número de experimentos, debido al diseño experimental orientado a evitar la influencia de la humedad sobre la variabilidad espacial. Sólo en casos concretos se recurre a los experimentos realizados sobre suelos húmedos, durante las estaciones de otoño, invierno y primavera, esencialmente para conocer el efecto de la humedad en la variabilidad espacial de la infiltración.

6.1.1. Comportamiento hidrológico de suelos del País Valenciano

La variabilidad de la infiltración en el País Valenciano, como en muchos otros ambientes terrestres (SPRINGER y GIFFORD, 1980; BONELL *et al.*, 1987; JOHNSON y BESCHTA, 1988; YAIR, 1991), es muy elevada. Los resultados presentados en el capítulo 4 nos mostraron cómo es posible encontrar suelos capaces de absorber toda la precipitación (55 mm h^{-1}), junto a otros en los cuales el agua infiltrada era insignificante respecto a la escurrida.

Los parámetros definitorios de la infiltración tienen unos comportamientos característicos según los tipos de suelos, como luego veremos para cada zona de estudio. Pero, para el País Valenciano en conjunto, los parámetros hidrológicos obtenidos con nuestros experimentos también definen con claridad, mediante su distribución de frecuencias, el modelo espacial al que responde la infiltración.

La infiltración final estable obtenida a partir de lluvia simulada (f_c) de todos los suelos estudiados presenta una distribución de frecuencias dominada claramente por

los valores de infiltración altos, siendo los valores extremadamente altos los más importantes ya que el 38 % de los suelos no produjeron escorrentía durante la duración del experimento (normalmente en estos casos 1 hora). Además el 70 % de todos los experimentos superaron los 40 mm h^{-1} para fc , umbral que distinguiría los suelos con alta infiltración final del resto. Estos últimos suelos producen tan bajos volúmenes de escorrentía, que debemos considerar que ésta se infiltrará como consecuencia de las pérdidas por transmisión. Es muy significativo que la moda de la distribución de frecuencias sean los valores superiores a 55 mm h^{-1} de fc , la intensidad de lluvia utilizada en toda la investigación, lo cual nos indica la gran influencia de la precipitación en el control de las tasas de infiltración y su influencia en el comportamiento de la muestra. La distribución de frecuencias es log-normal y en concreto *en forma de J* (JOHNSON, 1976), debido a que no hay ningún valor superior a la moda, como consecuencia de que ésta es el valor máximo posible (ver figura 6.1).

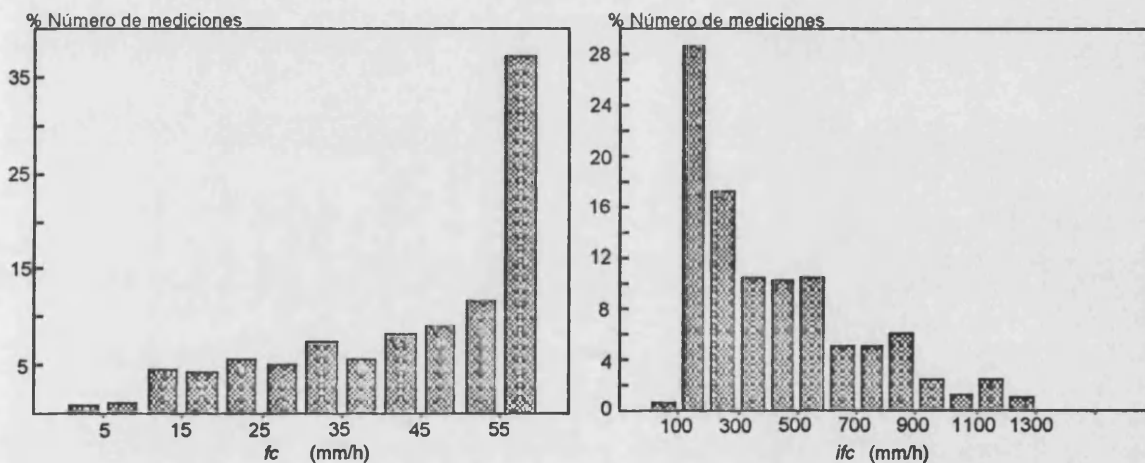


Figura 6.1. Distribución de frecuencias de ifc (obtenido a partir de infiltrómetro de cilindro, nº 286) y fc (obtenido a partir de lluvia simulada estándar, 55 mm h^{-1} , nº 335) de todos los experimentos realizados sobre suelos secos

La distribución frecuencias de ifc , aunque tienen el mismo significado físico que fc , responde a un modelo inverso al visto para los valores de este último parámetro (ver gráficos de la figura 6.1). Si bien en los dos casos la curva de distribución es log-normal, las diferencias son claras, ya que para ifc la cola de la distribución se encuentra en los valores altos, mientras que en el caso de fc está en los valores bajos. Así la moda para el parámetro fc es 55 mm h^{-1} (suelos sin escorrentía), mientras que para ifc es el intervalo de $100\text{-}200 \text{ mm h}^{-1}$, siendo una distribución de *asimetría derecha*, ya que el rango menor a 100 mm h^{-1} aunque reducido ($< 1 \%$), existe. Este comportamiento distinto de la infiltración para los mismos suelos se debe a que están medidos con diferentes métodos, el primero con lluvia simulada, el cual tienen un valor máximo

posible de 55 mm h^{-1} , mientras el del infiltrómetro de cilindro responde a la máxima tasa de infiltración en condiciones de infinita precipitación ($pp \rightarrow \infty$), de ahí que las magnitudes sean totalmente diferentes, y la formas de la curvas de distribución adopten un comportamiento contrastado.

Esto significa que para el caso de los experimentos con lluvia simulada, el control de la forma de la curva de distribución de f_c lo ejerce, paradójicamente, la precipitación, mientras que en el infiltrómetro de cilindro sería el mismo suelo. Hay que resaltar que las mediciones con infiltrómetro de cilindro prácticamente superan en todos los casos la tasa de 100 mm h^{-1} de infiltración final estable, lo que se debe a que en términos medios la infiltración es 8 veces mayor cuando se mide con infiltrómetros que cuando se mide con simulador de lluvia, siempre bajo las condiciones descritas por nosotros.

Por otra parte, aunque los datos obtenidos con infiltrómetro de cilindro reflejan la infiltrabilidad del suelo, como ya demostramos en el apartado 6.1, nos encontramos con que los valores de ifc son realmente increíbles por su magnitud (NASSIF y WILSON, 1975; BOUWER, 1978), y dudamos de su validez para la aplicación a estudios de producción de escorrentía o infiltración real.

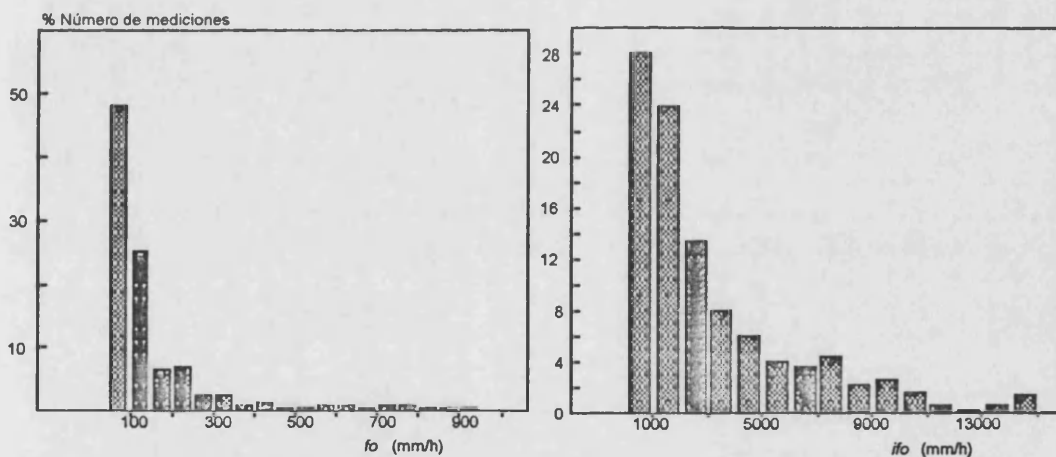


Figura 6.2. Distribución de frecuencias de if_o (obtenido a partir de infiltrómetro de cilindro, nº 286) y f_o (obtenido a partir de lluvia simulada estándar, 55 mm h^{-1} , nº 335) de todos los experimentos realizados sobre suelos secos

Además de los volúmenes de infiltración final estable el modelo de Horton nos ofrece información sobre la hipotética infiltración máxima, que según la teoría de la infiltración se debe producir cuando $t = 0$. Este parámetro, conocido como f_o en la ecuación de Horton, presenta valores que superan en casos concreto los $100.000 \text{ mm h}^{-1}$ (ver apéndice F), lo que hace que se entienda como un parámetro sin significación física, debido a que los valores máximos de f_o medidos con infiltrómetro de cilindro son

inferiores a 20.000 mm h^{-1} (*ifo*). Si nos restringimos a los valores de *fo* inferiores a 1000, encontramos que la distribución de frecuencias es log-normal *en forma de J*, con casi el 50 % de los experimentos con valores menores a 100 mm h^{-1} (figura 6.2).

Un comportamiento semejante al de *fo* lo encontramos con *ifo*, si bien en este caso podemos mostrar con claridad toda la muestra, en la cual los valores menores a 1000 mm h^{-1} son los más abundantes (moda), con un decrecimiento continuado del número de casos con el crecimiento en magnitud de *ifo*. El intervalo entre 0-1.000 mm h^{-1} es ocupado por casi el 30 % de los casos, y con valores de *ifo* menores a 5.000 mm h^{-1} nos encontramos con más del 80 % de la muestra.

La mayor magnitud de algunos valores de *fo* se debe a la no validez física de este parámetro, por que teóricamente es consecuencia de la forma de la curva de infiltración, pero físicamente lo es de la escorrentía y no de la infiltración.

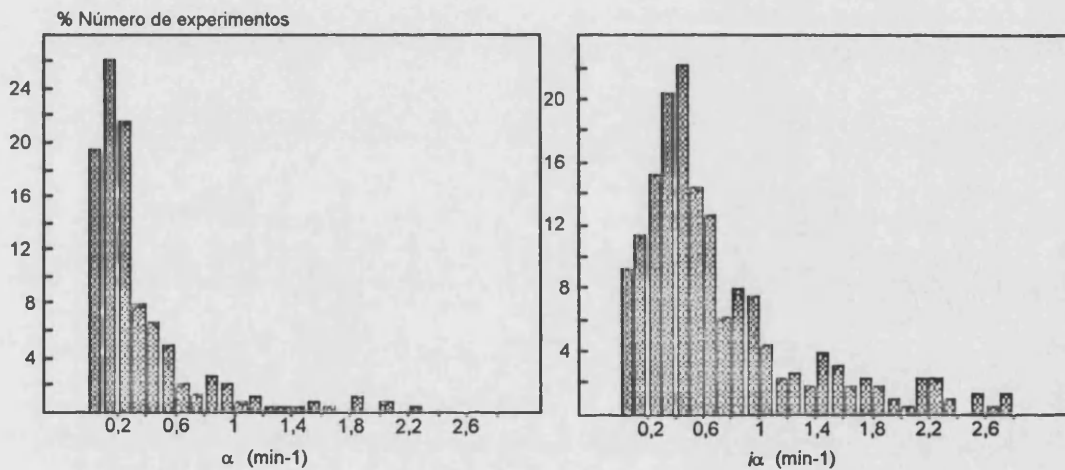


Figura 6.3. Distribución de frecuencias de $i\alpha$ (obtenido a partir de infiltrómetro de cilindro, nº 286) y α (obtenido a partir de lluvia simulada estándar, 55 mm h^{-1} , nº 335) de todos los experimentos realizados sobre suelos secos

Otro parámetro de gran interés en la caracterización de la infiltración para todos los suelos del País Valenciano es α , el cual nos indica el decaimiento de las tasas de infiltración con el tiempo. Por lo que se refiere a los experimentos con lluvia simulada, este índice, como ocurría con *fo*, no tiene una relación directa con la infiltración, ya que las medidas que se toman en el campo son de escorrentía, por lo que sus características las debemos atribuir a la hidrología superficial del suelo en sentido global. Los cambios temporales de la tasa de infiltración responden a una distribución log-normal, en la que el rango $0,1-0,2 \text{ min}^{-1}$ se presenta como la moda de la distribución,

siendo los valores de α inferiores a $0,3 \text{ min}^{-1}$, casi el 70 % de todos los experimentos realizados en verano (ver figura 6.3). Por lo tanto, respecto a los cambios temporales de las tasas de infiltración, los suelos del País Valenciano tienen valores muy bajos, a pesar de que en este tratamiento estadístico sólo afecta a los suelos con escorrentía.

Un comportamiento semejante tiene la tasa de decaimiento de la infiltración cuando esta es medida en los experimentos con **infiltrómetro de cilindro**, aunque la moda en la distribución de $i\alpha$ es superior en $0,4 \text{ min}^{-1}$. Esto seguramente es debido a que con el infiltrómetro el experimento se realiza con un aporte infinito de precipitación, lo cual produce la saturación y descenso muy rápido de las tasas de infiltración hasta tasas de infiltración final estable o conductividad hidráulica saturada. La simulación de lluvia, con intensidades bajas en relación con la elevada infiltrabilidad de los suelos, hace que los valores de α puedan ser muy bajos, aunque en ocasiones, debido a cuestiones topográficas, la pendiente medida en las curvas obtenidas a partir de experimentos con lluvia simulada sean superiores a las obtenidas con el infiltrómetro de cilindro.

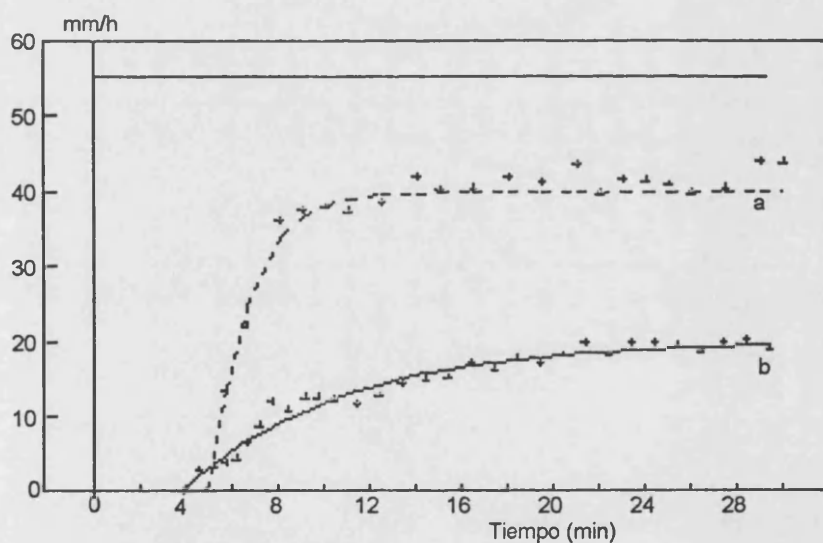


Figura 6.4. Hidrograma de un suelo sin pendiente (a), Pediment en Petrer, y un suelo con pendiente (b) en la ladera sur de Genovés. Ejemplo de suelo con hidrograma caracterizado por un caudal súbito debido al control del encharcamiento sobre la hidrología superficial (ejemplo a) y de un hidrograma, dependiente del drenaje paulatino del agua no infiltrada (ejemplo b)

Concretamente, se han detectado valores muy elevados para α en los suelos de campos de cultivo y en los pediments de los *badlands*, en los que la escorrentía alcanza antes de su movilización volúmenes de encharcamiento elevados (ejemplo a de la figura

6.4). Esto hace que, cuando se drena el agua almacenada sea por que se supera el umbral de la salida de la parcela tras un fuerte encharcamiento, lo que provoca que el caudal sea el máximo posible y se alcance rápidamente la estabilidad, como se muestra en la figura 6.4, siendo por ello la pendiente de la curva muy elevada. De hecho, el proceso de encharcamiento en estas parcelas es semejante al del infiltrómetro de cilindro, pero con la diferencia de que la escorrentía se mide con posterioridad, cuando el suelo ya ha sido saturado totalmente. En los suelos con pendiente, como el drenaje del agua no infiltrada es paulatino, el comportamiento del caudal responde más claramente a las pautas de infiltrabilidad de los suelos.

Un parámetro de gran interés en la caracterización de los suelos a partir de nuestros experimentos es el de la **tasa de infiltración en el minuto 30**, ya que chaparrones de esta duración con intensidades de 55 mm h^{-1} son muy abundantes en el territorio Valenciano y nos pueden indicar el comportamiento de la infiltración en el control y gestión de las precipitaciones antes de su llegada al cauce. La distribución de frecuencias de este parámetro es similar a la presentada para el parámetro f_c , en forma de J , aunque desplazada ligeramente hacia los rangos de mayor magnitud.

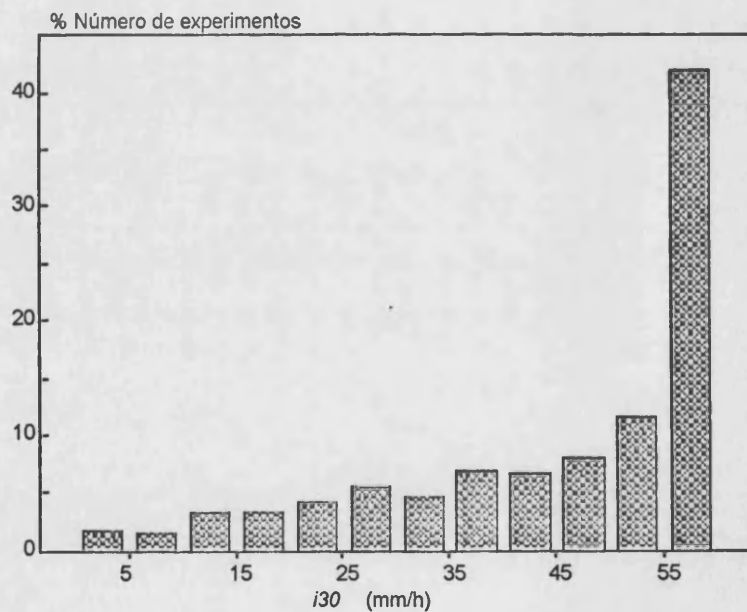


Figura 6.5. Distribución de frecuencias de los valores de i_{30} de todos los experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (n° 335)

Según los experimentos estándar realizados a lo largo de todo el País Valenciano, más de un 40 % de las superficies no producen escorrentía, a pesar de que la lluvia

simulada tiene periodos de recurrencia alta, mientras que otro porcentaje muy alto (30 %) tiene valores de $i30$ tan altos que la escorrentía va a ser insignificante, con lo cual seguramente las pérdidas por transmisión producirán que en pocos metros desaparezca. Entendemos que la distribución de frecuencias puede ser más lógica y real con el parámetro $i30$, no sólo porque está más de acuerdo con los chaparrones recurrentes en el País Valenciano casi anualmente, sino por que debido a que los experimentos tienen una duración superior a 30 minutos sus ajustes pueden ser más fiables a esta escala temporal.

Un comportamiento semejante al de fc e $i30$, lo presenta la distribución de frecuencias de los parámetros Ce , $Ce25$ y Esm , aunque ésta es inversa debido a que estos parámetros definen el volumen de agua escurrida. En los tres índices de escorrentía, nos encontramos que la moda está en el rango de menor valor (distribución de frecuencias *en forma de J*), lo que ratifica las características vistas anteriormente con respecto a la infiltración, es decir, la elevada infiltrabilidad de los suelos del País Valenciano.

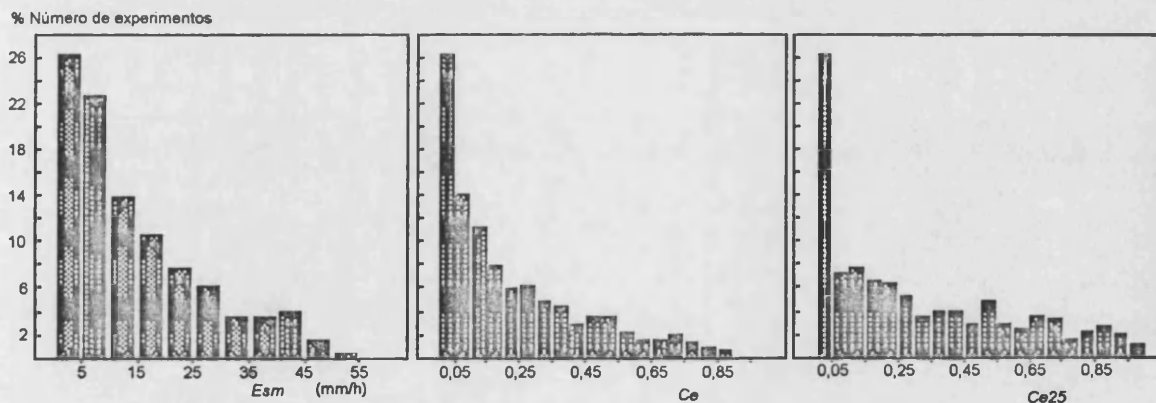


Figura 6.6. Distribución de frecuencias de los valores de los parámetros Esm (escorrentía media), Ce (coeficiente de escorrentía total) y $Ce25$ (coeficiente de escorrentía en el 25 % final de la curva de escorrentía). Datos obtenidos a partir de todos los experimentos (335) realizados sobre suelos secos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1})

En el caso de la Esm , se confirman las anteriores ideas, ya que uno de cada cuatro experimentos tiene valores inferiores a 5 mm h^{-1} , siendo más del 60 % los que están por debajo de 15 mm h^{-1} . El intervalo $50\text{-}55 \text{ mm h}^{-1}$ de Esm sólo afecta a un 0,4 % de los suelos, lo que ratifica la alta capacidad de absorción de agua de los suelos estudiados (ver figura 6.6).

Por otra parte, el parámetro C_e ratifica las ideas vistas con anterioridad respecto a la magnitud del agua infiltrada, ya que los rangos de las frecuencias que dominan la son las menores a 0,25, es decir, la escorrentía es inexistente o podíamos clasificarla de prácticamente inexistente en un 70 % de los suelos (ver figura 6.6). En el resto de la muestra, conforme aumenta el valor del C_e descende el número de suelos que responden a estas características. Por lo tanto, los suelos con valores de C_e altos o, lo que es lo mismo, con tasas de infiltración bajas, no tienen una gran importancia numérica.

En el caso de C_{e25} , la distribución de frecuencias es igual a la anterior (C_e), pero con un desplazamiento de los valores hacia rangos con C_{e25} mayores, debido a la evolución temporal de la infiltración. A pesar de ello, siguen siendo los valores muy bajos, y especialmente los valores inferiores a un 5 % de precipitación escurrida en el 25 % final de las curvas de escorrentía, las que dominan el conjunto de las muestras (ver figura 6.6).

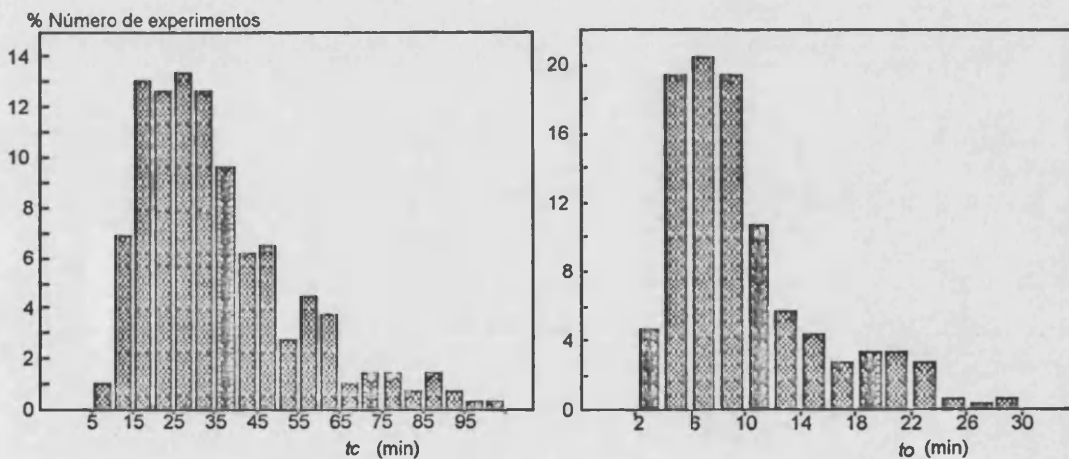


Figura 6.7. Distribución de frecuencias de los valores de los parámetros t_c (tiempo en el que se alcanza infiltración final constante) y t_o (tiempo de inicio de la escorrentía). Índices obtenidos a partir del ajuste de la ecuación de Horton a datos de los experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (n° 335). Los experimentos sin escorrentía, un 37 %, no están representados

Dos **parámetros temporales** de gran interés para la caracterización de la infiltrabilidad de los suelos del País Valenciano son el **tiempo en el que se inicia la escorrentía (t_o)** en nuestros experimentos estándar y el **tiempo en el que la infiltración puede ser considerada estable (t_c)**.

La distribución de frecuencia de t_c es claramente log-normal, alcanzando la cola valores superiores a 100 minutos. El tiempo necesario para la estabilización de la infiltración está claramente relacionado con otras variables hidrológicas estudiadas, especialmente f_c , ya que, como hemos visto anteriormente, los resultados de los parámetros f_c e $i30$ son muy semejantes, lo que sugiere que a los 30 minutos desde el inicio de la precipitación la infiltración ya es estable. La moda de la distribución de frecuencias para este parámetro es muy amplia, pudiéndose asignar a los valores entre 15 y 35 minutos, los cuales abarcan casi el 60 % de los experimentos (ver figura 6.7).

Hay que tener en cuenta que en los experimento sin escorrentía la estabilización de la infiltración se consigue desde el principio, y en caso de entrar en la distribución de frecuencias de este parámetro, la dominaría, ya que más de un 25 % de las suelos no produjeron escorrentía.

Otro parámetro muy interesante en la caracterización de la infiltrabilidad en sentido temporal es t_o , el cual nos indica en qué momento se inicia la escorrentía según el ajuste de los datos a la ecuación de Horton. También en este caso la distribución de frecuencias es log-normal y de asimetría derecha, estando la moda de la distribución en el intervalo 6-8 minutos, aunque hay que recordar que más del 25 % de los experimentos no produjeron escorrentía, rango que de entrar en el tratamiento estadístico dominaría la distribución de frecuencias (ver figura 6.7).

En el 90 % de los casos en los que hay escorrentía en los suelos, ésta se inicia antes del minuto 20 y en un 80 % antes del minuto 15, lo que significa que si la intensidad de la precipitación es suficiente para superar el umbral del inicio de la escorrentía, o bien de la capacidad del suelo para transmitir mediante la infiltración el agua precipitada, la escorrentía se puede detectar prácticamente con experimentos muy cortos, debido a que la escorrentía se inicia normalmente antes de los 20 minutos.

Tanto para t_c como t_o la distribución de frecuencias está caracterizada por la asimetría derecha y por tener distintos rangos con valores cercanos a las modas.

6.1.2. Variabilidad de la infiltración a nivel regional, diferencias entre distintas cuencas de drenaje

El parámetro f_c , como índice definitorio de la infiltrabilidad con valor físico más claro y representativo de la hidrología de los suelos (tasa de infiltración final estable), se ha elegido como indicador del diferente comportamiento de la variabilidad espacial de la infiltración para cada zona de estudio. Las variaciones espaciales están sin duda determinadas por la litología, además de por otros factores: climáticos, geomorfológicos

y culturales, como hemos visto en capítulos anteriores, siendo cada zona de estudio o cuenca de drenaje una respuesta globalizadora ante todas estas influencias. El parámetro f_c nos mostrará por medio de su distribución de frecuencias que la variabilidad espacial es diferente en cada uno de los paisajes estudiados, y se comprobará cómo, además de los factores estudiados en el capítulo 5, la litología junto a las influencia climáticas ejercen un importante papel en el control de la infiltrabilidad de los suelos, y como consecuencia de ello en la hidrología general de las cuencas de drenaje.

En el caso de la zona sobre arcillas del Keuper y concretamente en el caso de Anna, nos encontramos con que los valores más importantes de f_c son los mayores a 55 mm h^{-1} con diferencia (50 % de todos los casos). Sólo un 10 % de los experimentos tuvieron valores inferiores a 35 mm h^{-1} de f_c , y ninguno fue inferior a 10 mm h^{-1} (ver figura 6.8). En el caso de Torís, la distribución de frecuencias de f_c es semejante a Anna, pero con mayor importancia de los valores intermedios debido a la existencia de campos de cultivo abandonados y superficies muy degradadas, las cuales durante los periodos húmedos tienen tasas de infiltración medias y bajas. A pesar de ello, el rango más importante aquel en el que f_c es superior a la precipitación (55 mm h^{-1}).

Las zonas elegidas en el sur del País Valenciano sobre margas del Senoniense tienen un comportamiento totalmente diferente al de los suelos sobre arcillas del Keuper, tanto en valores absolutos como en la distribución de frecuencias de cada zona (ver figura 6.8). Tanto en Petrer como en Monnegre, nos encontramos con que la distribución de frecuencias no responde a una curva log-normal, estando las modas alejadas del valor 55 mm h^{-1} , el cual dominaba la distribución cuando se trataba de todos los suelos y zonas en conjunto (figura 6.8).

Concretamente, en el caso de Petrer la moda de la distribución de frecuencias está entre 15 y 10 mm h^{-1} , mientras que en Monnegre, respondiendo a una distribución bimodal, está entre 25 y 30 mm h^{-1} y 55 mm h^{-1} , aunque también son importantes otros rangos. En ambos casos, tanto en Petrer como Monnegre, nos encontramos con valores de f_c inferiores al resto de zonas, lo que nos ilustra sobre la baja capacidad de infiltración de estos suelos, especialmente de las superficies degradadas de los *badlands*, que determinan no sólo estos valores de f_c , sino elevadas tasas de erosión como hemos visto en el capítulo 4.

Hay una clara diferencia en el comportamiento de los suelos en Petrer y Monnegre en verano, lo que sin duda se debe a tres razones:

- Textura más grosera en Monnegre, lo que explica la inexistencia de valores de f_c inferiores a 15 mm h^{-1} .

- Menor degradación antrópica de los suelos, ya que no existen campos de cultivo de abandono reciente, y por lo tanto actividad agraria que altere los suelos, aunque sea de forma indirecta.
- Inexistencia de superficies de pediments, los cuales son los suelos de menores capacidades de infiltración.

Todo esto junto a la extrema sequedad del suelo ha dado lugar en Monnegre a valores de f_c siempre superiores a 15 mm h^{-1} , y a que los suelos con tasas elevadas de infiltración no produjeran escorrentía, hasta el punto de ser porcentualmente los más abundantes (ver figura 6.8).

La existencia de una fuerte variabilidad espacial de la infiltración, vista en otras zonas, se acentúa en estos suelos margosos, debido esencialmente a que el clima semiárido en el que se encuentran da lugar a suelos y muy bajas coberturas vegetales (laderas sur), frente a espacios con microclimas específicos con tasas de infiltración altas, incluso extremadamente altas, en ocasiones debido a que algunos suelos pueden tener f_c iguales a la precipitación.

Esta alta variabilidad espacial vista en Petrer está contrapuesta a la existente en las áreas con altas tasas de infiltración, como la de Puçol. En estas zonas sobre areniscas del Bundsanstein, los suelos estudiados tienen una altísima capacidad de infiltración, lo que se comprueba al tener el 100 % de los suelos valores de f_c mayores a 55 mm h^{-1} , no habiendo superado en ningún caso la precipitación la tasa de infiltración. Este comportamiento (figura 6.8) hace que las zonas de areniscas tengan claramente los suelos con mayor infiltrabilidad, además de una baja variabilidad espacial en la cual la moda (suelos sin escorrentía) domina la distribución por frecuencias de la infiltración.

En el caso de los suelos sobre calizas con cubierta de matorral, Genovés, la distribución de frecuencias de f_c es semejante a la vista anteriormente en Anna, estando dominada por los valores superiores a 55 mm h^{-1} (distribución de frecuencias *en forma de J*). También aquí, como en el caso de Anna, el rango en el que f_c es mayor a la escorrentía ($f_c = 55 \text{ mm h}^{-1}$) es el más importante, con un 50 % de la muestra. La importancia de la alta infiltrabilidad en el control de la hidrología de estos suelos se puede comprobar por el alto porcentaje de mediciones con valores de f_c superiores a 45 mm h^{-1} , el 80 %, así como al bajo porcentaje de los suelos con valores de infiltración baja, inferiores a 30 mm h^{-1} para f_c , el 0 %.

En Bolbens, la distribución de frecuencias a pesar de ser semejante a Genovés (figura 6.8), tiene una excepción, y es que puntualmente aparecen suelos con valores de f_c menores a 30 mm h^{-1} , lo que es una muestra de la herencia dejada por el incendio

forestal: suelos sin horizonte orgánico por la erosión de éste y, por lo tanto, con bajas tasas de infiltración.

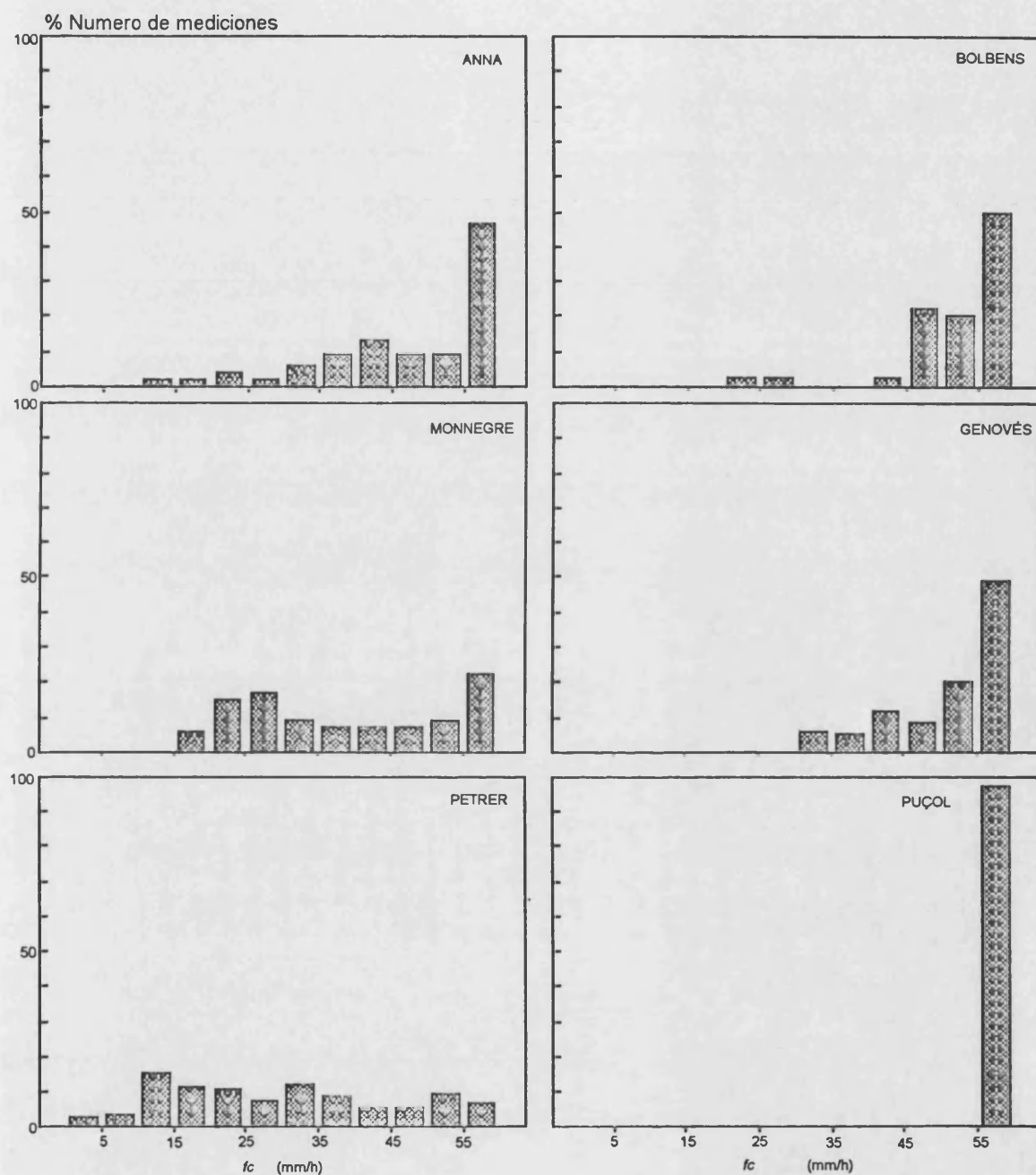


Figura 6.8. Distribución de frecuencias de f_c (tasa de infiltración final estable), para distintas zonas de estudio de todos los experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos ($n^\circ 335$). En el caso de Bolbens los experimentos utilizados corresponden al segundo y tercer verano después del incendio forestal

6.1.3. Variabilidad espacial a escala de ladera: la influencia de la vegetación

Además de las diferencias entre zonas de estudio, esencialmente determinadas por la litología y el clima, la distribución espacial de la infiltración a escala de ladera está claramente determinada por la cubierta vegetal y la estructura o patrones espaciales de ésta (SIMANTON *et al.*, 1977; WOOD, 1980; IMESON, 1984; ROMERO-DIAZ *et al.*, 1988; WARD y BOLIN, 1989).

La vegetación, como factor espacial de distribución de los procesos hidrológicos, ejerce una importancia clave en el control de la infiltración, al igual que la exposición determina a nivel de cuenca las laderas más estables hidrológicamente.

En general en todas las laderas estudiadas en esta investigación, la infiltración en los suelos responden a dos modelos de distribución espacial muy claros:

- Uno sobre *litologías duras*, calizas Campanienses y areniscas del Bundsanstein, en el que hay un mayor control de las matas de vegetación sobre la infiltración, y en el que las diferencias son menos contrastadas a nivel hidrogeomorfológico, como ya se vió en el capítulo 4, siendo Genovés el ejemplo más claro.
- Y otro sobre *litologías blandas*, arcillas del Keuper y margas del Senoniense, en el que se encuentran cubiertas vegetales muy diferentes según la posición geomorfológica y la exposición, por lo que cuentan con una respuesta muy contrastada ante la precipitación.

En Genovés y en general en todas las zonas sobre litologías duras, existen cubiertas menos densas en las laderas de exposición sur que en las norte. Esta reducción de la vegetación se traduce en una reducción del tamaño de las grandes matas de matorral (*Quercus coccifera*, *Pistacea lentiscus*, etc.) y en el aumento de las superficies, tanto en área total como en número, de las zonas de entre matorral o entrematas, donde son las herbáceas y el matorral de bajo porte (*Thymus vulgaris*), las que dominan la cubierta vegetal.

Esta adaptación de la vegetación a un ámbito más árido, la ladera sur, supone en términos hidrológicos una reducción de las superficies que son capaces de absorber toda la precipitación, aumentando el número de suelos con f_c menores a 45 mm h^{-1} . La diferencia en el comportamiento entre las dos laderas ante la lluvia se refleja en la figura 4.9, en la que se muestra la gran variabilidad de la infiltración y el control de las matas de vegetación (círculos coloreados). También se ofrecen los C_e medios para cada tramo de la ladera, lo que no responde a la hidrología de toda ella, sino al valor medio de todos

los experimentos realizados, algo seguramente muy distinto debido a las pérdidas por transmisión de parte de la escorrentía.

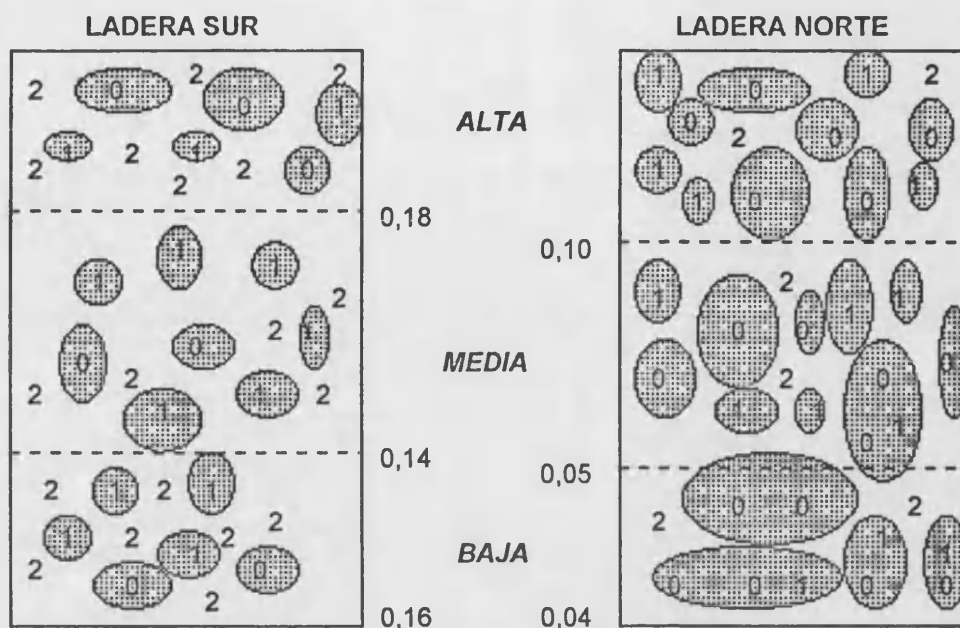


Figura 6.9. Modelo de distribución espacial de la infiltración en suelos sobre litologías duras. Ejemplos, calizas del Campaniense en Genovés. Distribución de f_c (tasa de infiltración final) estable en cada ladera. 0, sin escorrentía; 1, $f_c > 45 \text{ mm h}^{-1}$ y 2, $f_c < 45 \text{ mm h}^{-1}$ y valores medios de C_e para cada tramo de la ladera. Los datos proceden de experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos. Las manchas de tono gris corresponde a la matas de matorral (*Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, etc.) con cubiertas vegetales superiores al 80 %, y las zonas intermedias a cubiertas de herbáceas o matorral de bajo porte (*Thymus vulgaris*, *Cistus albidus*, etc.) con cubiertas inferiores al 30 %.

En las zonas sobre **litologías blandas**, la distribución de la vegetación en matas se produce solamente en paisajes en los que no existen procesos de degradación. En áreas como Petrer, Monnegre o Anna, la influencia de la erosión y desmantelamiento de los suelos, esencialmente los más cercanos al cauce, producen una diferenciación clara entre zonas erosionadas y zonas vegetadas. En estas últimas, las vegetadas, la distribución de la vegetación sigue estando dominada por zonas de matas o colonias de matas frente a zonas que podemos llamar pasillos, en las que la vegetación es menor, tanto en altura como en densidad, o bien por una cubierta homogénea de herbáceas como en la parte alta de la ladera norte de Anna.

Dentro de estas cuencas de drenaje sobre litologías blandas, la variación espacial de la vegetación estará dominada por el contraste zona vegetada-zona erosionada. Esto, como se presenta en la figura 6.10, afecta también a la distribución espacial de las tasas de infiltración.

En el caso de Anna, en la parte alta de la ladera norte la mayor humedad del suelo posibilita una cubierta vegetal homogénea (herbáceas, *Brachypodium retusum* esencialmente) junto a una mayor potencia del mantillo (hojarasca de *Pinus halepensis*). Esta distribución de la vegetación da lugar a una distribución de fc muy regular, con un valor medio de $54,82 \text{ mm h}^{-1}$, y en la cual, exceptuando un caso, ningún experimento estándar dió lugar a escorrentía.

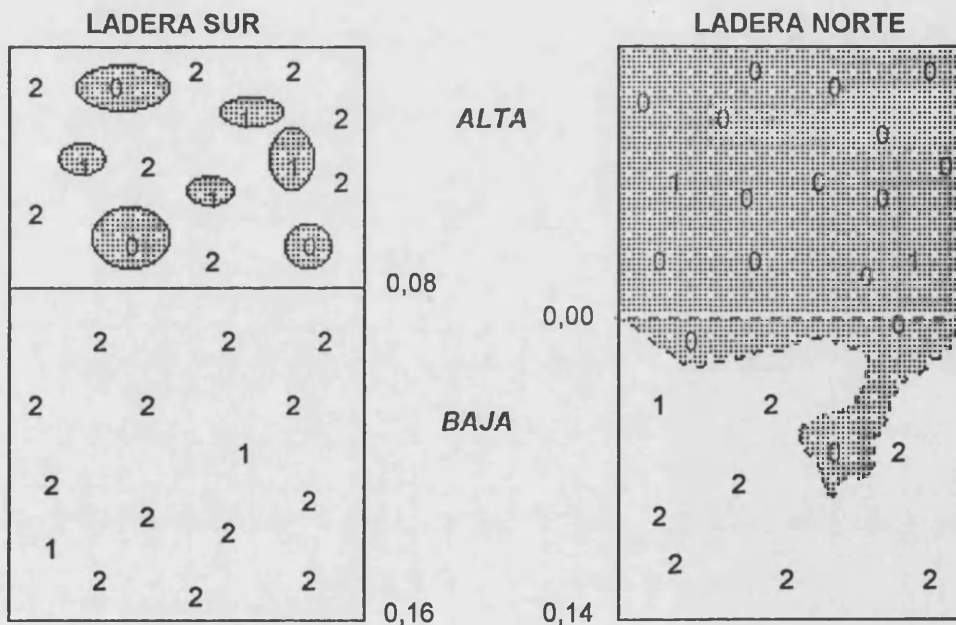


Figura 6.10. Modelo de distribución espacial de la infiltración según el modelo de suelos sobre litologías blandas. Ejemplo, arcillas del Keuper en Anna. Distribución de fc (tasa de infiltración final estable) en cada ladera. 0, sin escorrentía; 1, $fc > 45 \text{ mm h}^{-1}$ y 2, $fc < 45 \text{ mm h}^{-1}$ y valores medios de Ce para cada tramo de la ladera en Anna. Datos obtenidos a partir de experimentos realizados con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos. Las manchas de tono gris corresponde a la matas de matorral (*Anthyllis cystisoides*, esencialmente) o bien a densas cubiertas de herbáceas (*Brachypodium retusum* acompañado de *Thymus longiflorus* y *Anthyllis cystisoides*). El resto son zonas degradadas donde las cubiertas vegetales son inferiores al 5 %

En la parte alta de la ladera sur, como se muestra en la figura 6.10, la mayor sequedad por su exposición favorece la distribución de la cubierta vegetal en matas (*Anthyllis cystisoides*), así como la desaparición de la cubiertas de herbáceas. Esto

supone una reducción de la infiltrabilidad de los suelos respecto a la parte alta de la ladera norte, pero además el patrón de distribución espacial es en este caso similar al de Genovés, con valores de $C\theta$ 0, o bien f_c superiores a 45, en los espacios muy vegetados o matas, y los valores de f_c inferiores a 35 mm h^{-1} en la zona de entre matas.

En la parte baja de la ladera norte nos encontramos con la misma distribución que en la sur, con la excepción de que el desarrollo de cárcavas ha dejado espacios con suelos estables, los cuales mantienen tasas de infiltración superiores a la precipitación durante todo el experimento (símbolo 0, en la figura 6.10).

Estos dos diferentes modelos de distribución espacial de infiltración en las cuencas estudiadas en Genovés y en Anna se pueden hacer extensibles a otros espacios presentados en nuestro trabajos. En general los suelos desarrollados sobre litologías blandas presentan grandes diferencias entre las superficies estables y las degradadas. Entre las primeras podemos incluir muchas laderas norte: Torís, Petrer y algunas zonas cóncavas o de orientación norte de Monnegre, mientras que entre las segundas, las degradadas, estarían los suelos denominados como *badlands* en Petrer, Monnegre, Requena, Anna y Torís.

6.1.4. Relaciones entre la variabilidad espacial y la infiltrabilidad de los suelos

La distribución espacial de la infiltración, como elemento definitorio de las características de los ecosistemas puede ser utilizado en la caracterización hidrológica de zonas homogéneas y por lo tanto en la diferenciación entre ellas. Esto nos ha llevado a hacer una revisión de los resultados de nuestros experimentos estándar agrupados en unidades de suelos homogéneos desde dos puntos de vista: infiltrabilidad global parametrizada por el índice f_c y variabilidad de esta infiltrabilidad cuantificada por medio de la desviación estándar (std) y el coeficiente de variación (cv).

No hemos creído necesario incidir en el tratamiento estadístico debido a que sus resultados no nos hubiesen explicado mejor la hidrología de las laderas, ya que el paso de la escala de suelo a la de cuenca o ladera es muy complicada a nivel hidrológico, y tratamientos estadístico más complejos de los aquí presentados no hubiesen mejorado el conocimiento del comportamiento hidrológico, ya que el cambio de escala no responde a relaciones estadísticas tan sencillas (CAMPBELL *et al.*, 1985; FREEBAIRN y BOUGHTON, 1989; OSBORN y SIMANTON, 1991).

6.1.4.1. Variabilidad de la infiltración según las mediciones con lluvia simulada. Influencia de la humedad

Los suelos sobre areniscas del Bundsanstein, presentan, como ya vimos, unas tasas de infiltración muy altas cuando los suelos están secos (55 mm h^{-1}), lo que hace que ninguno de los experimentos produjera escorrentía. En las estaciones en las que los niveles de humedad del suelo son superiores (primavera, otoño e invierno), se alcanzan tasas de infiltración menores, pero siguen siendo muy elevadas y un elevado porcentaje de experimentos presenta infiltraciones superiores a la precipitación estándar, siendo el valor medio de f_c $51,11 \text{ mm h}^{-1}$. Esta alta infiltrabilidad de los suelos sobre areniscas del Bundsanstein va acompañada de una muy alta homogeneidad espacial (ver tabla 6.1). Con los suelos secos, debido a la no superación de la infiltración por la precipitación en ninguna de las pruebas, la desviación estándar de la muestra es cero, mientras que con los suelos húmedos es 6,82, con un cv de 14,92 %.

En resumen, en el caso de Puçol, los resultados nos muestran una reducción de la capacidad de infiltración de los suelos de un 8 % en las situaciones no estivales (primavera, otoño e invierno) respecto a las estivales, mientras que la variación espacial con los suelos húmedos es mayor (ver tabla 6.1).

	seco	húmedo
	f_c	f_c
	mm h^{-1}	mm h^{-1}
media	55,00	45,81
std	0,00	6,83
cv (%)	0,00	14,92

Tabla 6.1. Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (cv) de f_c (tasa de infiltración final estable), obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h^{-1} . Puçol, suelos sobre areniscas del Bundsanstein tanto secos como húmedos

Durante los periodos secos, los suelos sobre arcillas del Keuper como los de Anna, presentan tasas de infiltración altas, especialmente para las partes altas de las laderas, donde la vegetación es muy abundante. Centrándonos en los valores de f_c , los cuales son los realmente interesantes para nuestra investigación por su indiscutible validez física, hay que decir que las variaciones de este parámetro en el espacio en Anna son mayores cuanto menor capacidad de infiltración y más degradados estén los suelos.

En la *parte alta* de la ladera norte, la homogeneidad de la cubierta vegetal hace que todos los suelos tengan valores de f_c superiores a 50 mm h^{-1} de ahí que la

variación espacial sea muy baja, no llegando el coeficiente de variación al 1 %. Esto varía en la ladera sur donde la distribución en matas de la vegetación supone una mayor variabilidad espacial ($cv = 12\%$) y especialmente en la *parte baja* de la ladera norte, donde existen suelos degradados junto a suelos no degradados ($cv = 43\%$). La erosión remontante en forma de frente hace que en la ladera sur al contrario que en la ladera norte se produzca una elevada homogeneidad del suelo, aunque siempre inferior a la de los suelos no degradados ($cv = 17\%$).

	SUR		NORTE	
	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA
	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>
	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹
media	35,14	47,45	35,86	54,82
std	7,16	5,79	15,46	0,47
cv (%)	20,37	12,20	43,09	0,86

Tabla 6.2. Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (cv) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Anna, arcillas del Keuper, suelos secos de la ladera sur y norte, diferenciando dentro de ellas entre las partes baja y alta

Durante las estaciones húmedas, se ha dividido el estudio entre los suelos de la partes bajas de ambas laderas, donde la erosión remontante al degradar los suelos controla la hidrología de estos, y la parte alta, donde la mayor vegetación, en parte acompañada de la repoblación de *Pinus halepensis*, favorece tasas de infiltración mayores (ver capítulo 4). La comparación de los resultados demuestra que la mayor humedad favorece una menor capacidad de infiltración en términos medios, además de un aumento de la variabilidad espacial. Los suelos degradados de la base de las laderas, tanto norte como sur, presentan un cv del 45 % mientras que en los suelos estables de las partes altas este valor alcanza tan sólo el 19 %. Esto ratifica el que los suelos degradados tienen mayores variaciones espaciales, mientras que los suelos estables se comportan con rangos de variación menores. Esto se confirma con el cv obtenido a partir de los logaritmos de *fc*.

Este comportamiento de la relación entre la magnitud de *fc* y su variabilidad es perfectamente identificable en los suelos con mayores rangos de degradación, esencialmente suelos sobre margas y arcillas del Keuper. Para el caso de Torís, durante los periodos secos, los suelos vegetados y degradados (zonas de los campos de cultivo degradadas y *badlands*) tienen tasas de infiltración muy altas. La humedad introduce una reducción de los valores de *fc* de un 41,5 % para los suelos vegetados y de un 56,6 % para los degradados (ver tablas 6.5 y 6.4).

Respecto a las variaciones espaciales, nos encontramos con valores muy altos en los suelos degradados, 29,9 %, mientras que en el caso del cv para los suelos vegetados es sólo del 8,8 %. Por lo tanto, se repite el comportamiento visto en la zona de Anna, ya que las unidades de suelos más estables tienen comportamientos muy homogéneos ante la lluvia, mientras que la heterogeneidad domina las áreas degradadas.

PARTE	BAJA <i>fc</i> mm h ⁻¹	ALTA <i>fc</i> mm h ⁻¹
media	30,54	44,83
std	13,76	8,58
cv (%)	45,05	19,14

Tabla 6.3 .Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (cv) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Anna, arcillas del Keuper, suelos húmedos de las partes bajas y altas de ambas laderas

En los suelos de Torís, tanto vegetados como degradados, la reducción de la infiltrabilidad de los suelos con el aumento de la humedad es acompañada de un aumento de la variabilidad espacial del proceso. Concretamente en los suelos vegetados el coeficiente de variación de *fc* alcanza el 34,1 %, mientras que en los suelos degradados el incremento alcanza hasta el 52,6 % (cv). Esto nos confirma la idea de que el aumento de la humedad, además de la reducción de la infiltración favorece el aumento de la variabilidad espacial, como vimos en Anna. Esto se debe a que las diferencias entre los suelos con baja capacidad de infiltración y los suelos muy estables -capaces de absorber el 100 % de la precipitación a pesar de los altos contenidos en agua- aumentan con la humedad.

	TO1 <i>fc</i> mm h ⁻¹	T02 <i>fc</i> mm h ⁻¹	MN1 <i>fc</i> mm h ⁻¹	MN2 <i>fc</i> mm h ⁻¹	RE <i>fc</i> mm h ⁻¹
media	51,11	31,44	51,75	36,44	29,50
std	4,43	9,39	3,68	2,91	12,29
cv (%)	8,67	29,87	7,11	7,98	41,66

Tabla 6.4. Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (cv) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Suelos secos sobre arcillas del Keuper en distintos paisajes del País Valenciano. Suelos secos. TO1: suelos vegetados, T02: suelos degradados, MN1: suelos vegetados, MN2: suelos degradados, RE: *badlands*

En los suelos de Monnegre y Requena encontramos una respuesta semejante a la anterior, aunque en estos casos el bajo número de experimentos y el que sólo los realizáramos con contenidos de agua muy bajos (verano), hace que sean datos menos fiables. Los datos presentados en la tabla 6.6, nos confirman la reducción de la infiltración con la degradación de los suelos y que esto, está acompañado por un aumento de la variabilidad espacial.

	TO1	T02
	<i>fc</i>	<i>fc</i>
	mm h⁻¹	mm h⁻¹
media	29,91	13,64
std	10,21	7,17
cv (%)	34,13	52,56

Tabla 6.5. Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (cv) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Suelos húmedos sobre arcillas del Keuper en la zona de Torís. TO1: suelos vegetados, T02: suelos degradados

El que los valores de la infiltrabilidad de los suelos estén dominados por la humedad y por la degradación de éstos se confirma en el caso de los suelos sobre margas del Senoniense, ya que la facilidad para erosionarse y degradarse de estos suelos favorece la existencia de múltiples situaciones, todas ellas representativas de ambientes concretos.

Tanto en los suelos estudiados en Petrer, como en Monnegre, con bajos niveles de humedad, los suelos más desarrollados (más vegetados, con mayores contenidos en materia orgánica, etc.) presentan mayores tasas de infiltración, y menores variaciones espaciales que los suelos degradados (ver tabla 6.6).

Para los suelos vegetados, las variaciones espaciales son mayores a las de los suelos vegetados sobre calizas o arcillas del Keuper, debido a la menor vegetación de estas áreas. Esto no sólo se verifica por esta mayor variabilidad espacial, sino también por las menores tasas de infiltración.

La suelos degradados (ENL, BAD y PED), presentan menores tasas de infiltración, lo que va unido a una mayor variabilidad espacial, alcanzando en los casos de los enlosados y laderas de los *badlands* valores del coeficiente de variación muy altos (ver tabla 6.6).

En los suelos de las laderas de los *badlands* hay una gran variedad de morfologías (fotografías 3.30, 3.32, y 3.37), incluso con algunas que dan lugar a altas tasas de infiltración por la presencia de grietas muy grandes y persistentes, u otras superficies

muy compactadas con bajas capacidades de infiltración. Esto explica que el coeficiente de variación de fc sea del 80 %, frente al 37,9 % que presentan las superficies de pediments, en los cuales las diferencias morfológicas son menos importantes, y por ello la homogeneidad de su respuesta hidrológica es mayor.

	VEG	SUR	VI	BAD	PED	ENL
	fc	fc	fc	fc	fc	fc
	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹
media	46,60	32,76	38,54	16,57	13,75	26,04
std	8,24	10,77	12,81	11,46	5,21	12,31
cv (%)	17,67	32,88	33,23	69,16	37,87	47,29

Tabla 6.6 .Valores medios, desviación estándar (*std*) y coeficiente de variación (*cv*) de fc (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Suelos secos sobre margas del Senoniense, Petrer y Monnegre. BAD: laderas de *badlands*, PED: Pediment de *badlands*, VEG: Suelos vegetados (> 80 %), SUR: suelos vegetados de la ladera sur (< 20 %) sobre derrubios arenosos, VI: suelos con cubiertas vegetales intermedias (40-70 %), ENL: suelos con elevada cubierta de piedras, enlosados

Esta relación entre capacidad de infiltración y variabilidad espacial del proceso se repite durante las estaciones húmedas, si bien, en comparación con los periodos secos, las tasas de infiltración decrecen y las variaciones espaciales aumentan. En el caso de las laderas de los *badlands* el coeficiente de variación aumenta hasta el 114,9 % mientras que en los pediments lo hace hasta 82,6 %, a pesar de la homogeneidad de este tipo de superficies.

	VEG	SUR	VI	BAD	PED	ENL
	fc	fc	fc	fc	fc	fc
	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹	mm h⁻¹
media	30,28	22,83	24,33	8,81	7,26	13,92
std	15,41	12,79	13,07	10,12	6,00	11,30
cv (%)	50,89	56,02	53,73	114,9	82,62	81,18

Tabla 6.7. Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación de fc (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Suelos húmedos sobre margas del Senoniense, Petrer y Monnegre. BAD: laderas de *badlands*, PED: Pediment de *badlands*, VEG: Suelos vegetados (> 80 %), SUR: suelos vegetados de la ladera sur (< 20 %), VI: suelos con cubiertas vegetales intermedias (40-70 %), ENL: suelos con elevada cubierta de piedras, enlosados

En el caso de los suelos sobre calizas del Campaniense nos encontramos con unas tasas de infiltración similares a la de los suelos sobre arcillas del Keuper. Como ya

comentamos en el capítulo 4, las diferencias entre las ladera son claras, ya que la ladera norte tiene mayor capacidad de infiltración, pero dentro de cada ladera las diferencias son poco significativas. A pesar de ello, se confirma que los tramos de las laderas con menores capacidades de infiltración son los que presentan también mayores variaciones espaciales, pasando los valores de la *std* de 11,8 en la parte alta de la ladera sur a 6,30 en la parte baja de la ladera norte, la más estable de todas (ver figura 6.8).

LADERA	SUR			NORTE		
	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
TRAMO	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>	<i>fc</i>
	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹
media	42,87	44,23	42,07	46,27	48,67	50,50
std	11,80	8,31	11,54	8,94	7,60	6,30
cv (%)	27,53	18,79	27,43	19,33	15,62	12,47

Tabla 6.8. Valores medios, desviación estándar (*std*) y coeficiente de variación (*cv*) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Genovés, suelos secos sobre calizas del Campaniense en distintos ambientes geomórficos (tramos altos, medios y bajos) de las laderas norte y sur

En esta misma zona, aunque el número de suelos estudiados en húmedo es mucho menor, se puede decir que las variaciones espaciales durante las estaciones húmedas aumentan claramente, especialmente en la ladera sur, lo cual tiene una respuesta hidrológica muy diferente a lo visto durante los periodos secos. Por otra parte en la ladera norte, las diferencias entre la situación en seco y en húmedo son muy poco importantes, seguramente porque la capacidad de infiltración de los suelos en la ladera norte es tan alta que la intensidad de la lluvia utilizada en ninguna de las dos situaciones (seco y húmedo) ha superado con claridad la infiltrabilidad de los suelos. Esto mismo dió como resultado el análisis de esta ladera norte respecto a la de Bolbens en el apartado 4.6.

	SUR	NORTE
	<i>fc</i>	<i>fc</i>
	mm h ⁻¹	mm h ⁻¹
media	22,82	46,24
std	12,95	5,97
cv (%)	56,73	12,91

Tabla 6.9. Valores medios, desviación estándar (*std*) y coeficiente de variación (*cv*) de *fc* (tasa de infiltración final estable) obtenida a partir de experimentos con lluvia simulada estándar, 55 mm h⁻¹. Genovés, suelos húmedos sobre calizas del Campaniense en las laderas norte y sur

6.1.4.2. Variabilidad de la infiltración según las mediciones con infiltrómetro de cilindro

El aumento de la variabilidad espacial de los suelos con la reducción de la infiltrabilidad, ya sea por el efecto de la humedad, ya por la degradación de los suelos, como ha sido demostrado en el apartado anterior podría estar determinada por la técnica de medición, ya que la distribución de frecuencias de f_c eran bien distintas según con qué método se medía: de asimetría derecha con el infiltrómetro, y *en forma de J* (asimetría izquierda) en el caso de las mediciones con lluvia simulada.

Así, tenemos que, con la técnica del simulador de lluvia, la infiltración está determinada claramente por la precipitación, lo que hace que los valores de la distribución de las variables hidrológicas obtenidas por medio de este procedimiento se acumulen en los rangos de mayor infiltrabilidad (ver apartado 6.1.1). Este comportamiento es completamente diferente para los datos hidrológicos obtenidos a partir del infiltrómetro de cilindro en el que la cola de la distribución se prolongaba hacia los valores superiores, mientras que los rangos con mayor porcentaje de la muestra están en los valores inferiores (ver figura 6.1). Esta podría ser una de las explicaciones de que a mayor infiltrabilidad en las mediciones con simulador de lluvia obtuviéramos menores coeficientes de variación, es decir, mayor variabilidad espacial.

A pesar de lo anteriormente explicado, en el análisis de los datos obtenidos con infiltrómetro, se confirma que la variabilidad espacial de f_c es mayor en los suelos con menor capacidad de infiltración. Los datos presentados en la tabla 6.10, para el caso de Genovés, muestran que las medidas tomadas con infiltrómetro de cilindro, y que la variabilidad espacial es mayor cuando los suelos están más húmedos, es decir, cuando tienen menores capacidades de infiltración.

	húmedo <i>ifc</i> mm h ⁻¹	seco <i>ifc</i> mm h ⁻¹
media	353,29	448,89
std	265,92	263,06
cv (%)	75,27	58,60

Tabla 6.10. Valores medios, desviación estándar y coeficiente de variación de *ifc* obtenido a partir de infiltrómetro de cilindro en suelos secos y húmedos sobre calizas del Campaniense en Genovés

La reducción de la variabilidad espacial con el aumento de la infiltrabilidad de los suelos es una constante también para las mediciones con infiltrómetro de cilindro, ya que cuando las unidades de suelos identificadas como homogéneas (ver capítulos 3 y 4)

tienen menores valores de ifc , el valor del coeficiente de variación también es menor. Tan sólo en el caso de los suelos degradados de los pediments de *badland*, la variabilidad espacial (88 % de cv), aunque elevada, es inferior a lo que le correspondería por su reducida capacidad de infiltración ($46,93 \text{ mm h}^{-1}$), como también ocurre con los suelos vegetados de Monnegre, lo que sin duda se debe a la homogeneidad superficial.

Ladera	Unidad de suelos	ifc mm h^{-1}	std	cv (%)	
PUÇOL		958,36	147,32	15,37	
ANNA	PARTE BAJA				
	Ladera norte	96,51	98,84	102,42	
	Ladera sur	119,60	106,46	89,01	
	PARTE ALTA				
	Ladera norte	475,36	187,96	39,54	
	Ladera sur	148,51	91,01	61,28	
TORIS	Vegetado	255,73	130,55	51,05	
	Degradado	99,42	81,77	82,25	
	Campos de cultivo	83,44	56,87	68,16	
MONNEGRE	Vegetado	136,14	9,90	7,27	
	Degradado	30,74	28,55	92,88	
GENOVÉS	LADERA SUR				
	Baja	498,10	218,81	43,93	
	Media	591,38	222,85	37,68	
	Alta	294,71	179,05	60,75	
	LADERA NORTE				
	Alta	443,97	198,15	44,63	
	Media	569,23	225,36	39,59	
	Baja	655,74	187,62	28,61	
		Campos de cultivo	114,73	80,96	70,57
	BOLBENS		400,32	215,42	53,81
PETRER y MONNEGRE	<i>badland</i>	94,57	164,80	174,26	
	Pediment	46,93	41,65	88,75	
	Enlosado	136,90	122,90	89,77	
	< 20 %	228,27	149,85	65,65	
	40-70 %	221,24	195,00	88,14	
	100 %	360,62	150,66	41,78	
	Campos de cultivo	58,57	46,21	78,89	

Tabla 6.11. Valores medios, desviación estándar (std) y coeficiente de variación (%) del parámetro ifc (tasa de infiltración final estable) obtenido a partir de mediciones con infiltrómetro de cilindro para diferentes unidades de suelos (ladera, partes de laderas, campos de cultivo, etc., como se especifica en el análisis del capítulo 4 y en la metodología del capítulo 3). En todos los casos son mediciones tomadas sobre suelos secos

Es de destacar la elevada variabilidad espacial de la infiltración en los suelos degradados de los abarrancamientos sobre margas (*badland*), como ya comentábamos en el apartado correspondiente (apartado 4.3), lo que sin duda es debido a la existencia, en ocasiones, de un importante flujo subsuperficial en profundidad frente a superficies totalmente selladas por el encostramiento.

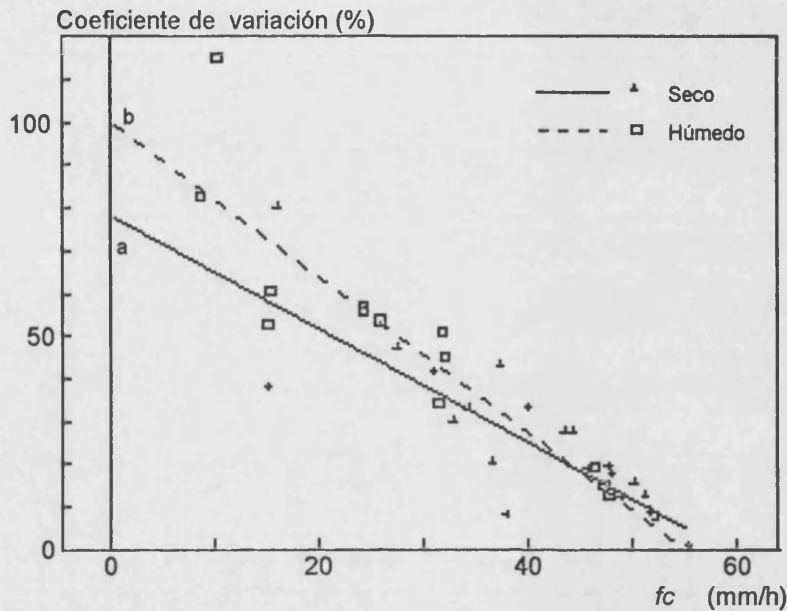


Figura 6.11. Relación entre f_c (tasa de infiltración final estable) y la variabilidad espacial de esta (coeficiente de variación, %). Datos obtenidos a partir de experimentos realizados sobre suelos secos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) para diferentes unidades de suelos como se especifica en el análisis del capítulo 4 y en la metodología del capítulo 3

6.1.4.3. Variabilidad espacial y magnitud de la infiltrabilidad

Ante todo hay que recordar que la variabilidad espacial de la infiltración en los suelos está determinada por la intensidad de la lluvia, ya que a intensidades mayores a la utilizadas en nuestro experimentos estándar, los suelos vegetados, caracterizados por su homogeneidad, darían lugar a patrones espaciales de infiltración diferentes y con ello se produciría un aumento de la heterogeneidad.

Pero, ante una precipitación estándar, como la utilizada por nosotros, se puede concluir que, además de una reducción de la infiltrabilidad de los suelos con el aumento de la humedad se produce un claro crecimiento de la variabilidad espacial, tendencia que se confirma cuando la reducción de f_c se debe a la degradación de los suelos (ver figura 6.11).

El aumento de la variación espacial de la infiltrabilidad de los suelos con el descenso de las tasas de infiltración se ha modelizado en la figura 6.11 a partir de las medias de cada unidad de suelo estudiada. Para los suelos secos la pendiente de la curva es menor, siendo la ecuación $y = 78 - 1,34 (x)$, la que define la relación negativa entre fc y cv (recta a en la figura 6.11, r^2).

Para los suelos húmedos la ecuación $y = 99,04 - 1,86 (x)$, con una ligera menor dispersión de la muestra ($r^2 = 0,80$), define esta relación negativa (recta b en el gráfico 6.11) en la cual la humedad de los suelos explica la mayor pendiente de la recta de regresión, tanto porque la humedad del suelo produce una reducción de la infiltrabilidad de los suelos, como porque produce un aumento de la variabilidad espacial.

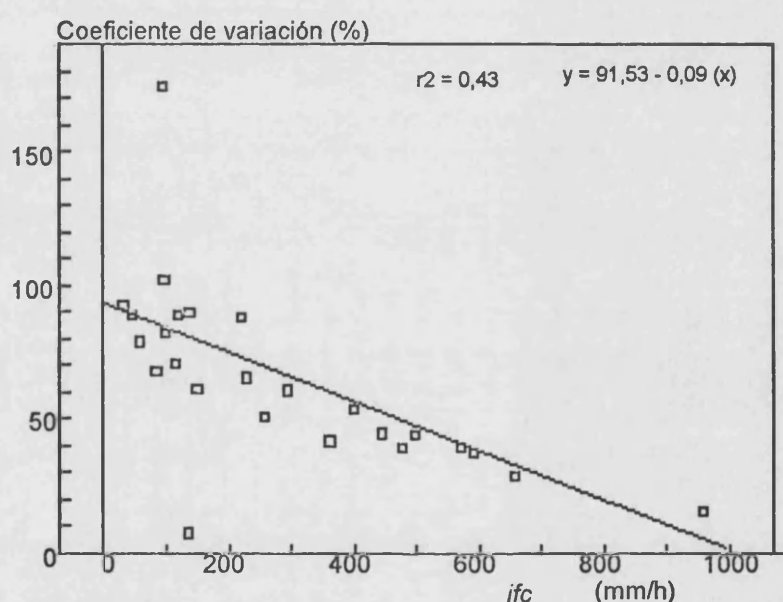


Figura 6.12. Relación entre ifc (tasa de infiltración final estable) y la variabilidad espacial de ésta (coeficiente de variación %). Datos obtenidos a partir de experimentos realizados sobre suelos secos con infiltrómetro de cilindro para diferentes unidades de suelos como se especifica en el análisis del capítulo 4 y en la metodología del capítulo 3

En el caso de los experimentos con **infiltrómetro de cilindro**, la ecuación que define la relación entre la variabilidad espacial y la magnitud de fc para distintas unidades de suelos ratifica esta relación negativa (ver figura 6.12), y sólo la elevada variabilidad de la infiltración en los *badlands* sobre margas senoniense, por razones antes explicadas, y el caso de la unidad de suelos vegetados de Monnegre sobre arcillas del Keuper, por su elevada homogeneidad (ver tabla 6.12) distorsiona la tendencia ($r^2 = 0,43$).

6.1.5. Variaciones espaciales de los cambios temporales

La variabilidad espacial no afecta sólo al parámetro por excelencia de la infiltración: la tasa de infiltración final estable, sino que también altera las variaciones temporales de la infiltración. Es decir, las formas de las curvas de infiltración son diferentes dependiendo de las zonas de estudio y sus características, unidades de suelos y entre los mismos suelos.

La importancia de las variaciones temporales reside en que, además de ser la característica intrínseca de la hidrología de los suelos y la que marca la dinamicidad del proceso determina en parte el volumen de agua infiltrado. De los cambios temporales sabemos que están fuertemente influidos por la intensidad de la lluvia, como lo demuestra las envolventes de infiltración (SMITH, 1972; IMESON y KWAAD, 1990), por la precipitación o humedad previa, y por supuesto por el tipo de suelo. En nuestro caso, se estudian los experimentos con iguales intensidades de lluvia, para de esta forma determinar cual es el comportamiento temporal de la infiltración en los distintos tipos de suelos, y evitar la influencia de factores como la intensidad de la precipitación.

El tratamiento de los datos (ver capítulo 3) nos ha permitido disponer de varios parámetros que nos indican los cambios temporales sufridos por la infiltración durante un evento. Estos son esencialmente el índice α de la ecuación Horton, el parámetro b de la ecuación $i = a + b^{-t}$, tc obtenido según la ecuación de Horton, y los distintos valores de la tasa de infiltración obtenidos a intervalos de tiempo de quince minutos ($Ce0-15$, $Vi15$, etc.), los cuales se adjuntan en el apéndice 7. Otros parámetros de gran interés son los tiempos en los que se producen cambios en la superficie del suelo: tp y te , así como el inicio de la medición del caudal: to .

Pero de todos ellos, se ha elegido el parámetro α para la caracterización de los cambios temporales, ya que con un sólo índice tenemos toda la información de los cambios sufridos por la tasa de infiltración con el tiempo, además de ser un parámetro obtenido de la misma ecuación que el utilizado para caracterizar la tasa de infiltración final estable (fc), la de Horton.

Hay que recordar que la validez física del parámetro α afecta a la curva de escorrentía medida en el campo y ajustada con la ecuación de Horton, pero no a la de la infiltración de una forma absoluta, ya que en nuestros experimentos con lluvia simulada no se toman medidas directas de infiltración.

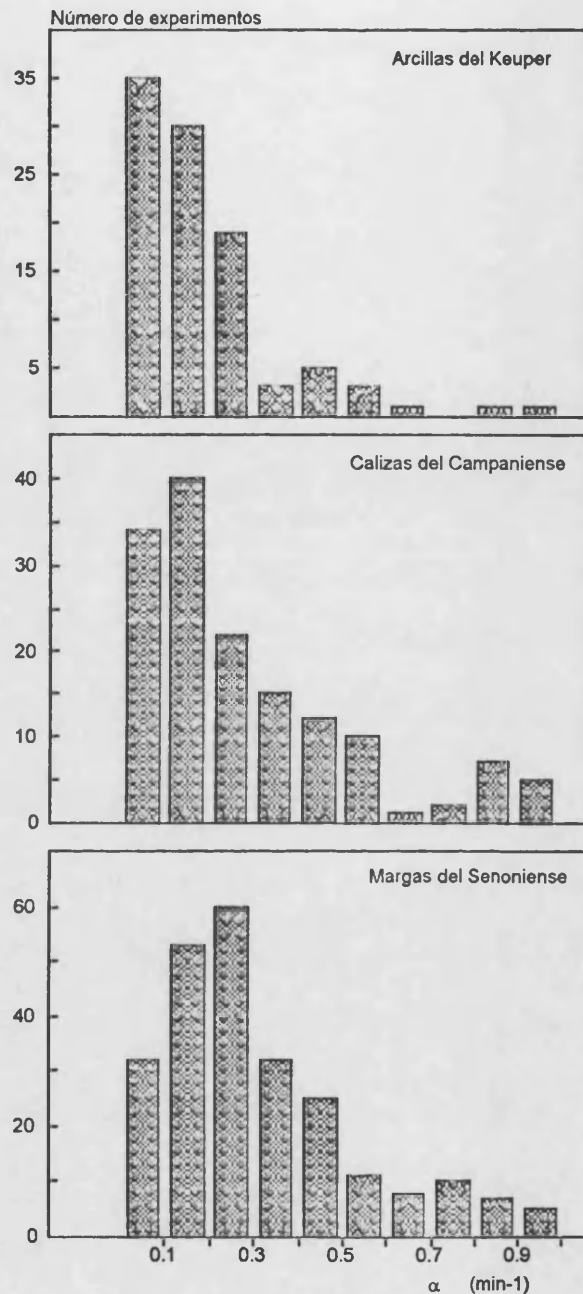


Figura 6.13. Distribución de frecuencias de α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo) en suelos sobre arcillas del Keuper (Torís, Anna, Monnegre y Requena), calizas del Campaniense (Genovés, Vall de gallinera, Pedralba y Bolbens) y margas del Senoniense (Monnegre y Petrer). Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos, por ello no hay datos sobre los resultados en suelos sobre areniscas del Bundsanstein, los cuales no produjeron escorrentía en ninguna de las parcelas

6.1.5.1. Variaciones espaciales de α

Los valores de α han variado en los diferentes experimentos desde 0 hasta valores superiores a 10 min^{-1} , siendo los valores superiores a 1 min^{-1} correspondientes

a suelos con escurrientías muy bajas (f_c superiores a 50 mm h^{-1}) en los que se exagera la pendiente de la curva por los pocos puntos tomados en el campo, y en todos los casos son fruto de caudales de reducida persistencia y consistencia. También valores de α altos se encuentran en curvas hidrofóbicas, o en experimentos sobre suelos muy húmedos o suelos sin pendientes, etc. El análisis que aquí presentamos corresponde a los valores de α inferiores a 1 min^{-1} , rango en el que se encuentra más del 95 % de los experimentos.

La distribución de frecuencias de los valores de α (ver figura 6.3) en experimentos sobre suelos secos nos muestra como el 70 % de los experimentos con escurrientía tienen valores inferiores a $0,3 \text{ min}^{-1}$, siendo la frecuencia $0,1-0,2 \text{ min}^{-1}$ la moda, con más del 25 % de todas las mediciones. Los grandes grupos por frecuencias de α corresponderían a los valores inferiores a $0,3 \text{ min}^{-1}$, seguido por un grupo mucho menos numeroso ($0,3$ a $0,6 \text{ min}^{-1}$) con un 20 % de todas las mediciones, y otro tercer grupo insignificante ($0,6$ a 1 min^{-1}), para terminar con un cuarto que respondería al nivel de la anécdota (valores superiores a 1 min^{-1}). Por lo tanto, la situación normal es un decrecimiento bastante lento de la tasa de infiltración, aunque esto variará dependiendo de los tipos de suelos. Para el caso de las mediciones con infiltrómetro de cilindro los resultados son algo diferentes (ver apartado 6.1.1).

Al estudiar con el mismo procedimiento la distribución de frecuencias de α por zonas de estudio nos encontramos que en las zonas sobre arcillas del Keuper (Torís, Requena, Anna y Monnegre) el rango más importante es $0-0,1 \text{ min}^{-1}$, y la importancia de los valores de α se reduce drásticamente después del valor $0,3 \text{ min}^{-1}$ (ver figura 6.30). Es decir, la distribución de frecuencias es *en forma de J*, estando la moda en el valor inferior. Este comportamiento de los cambios temporales de la tasa de infiltración nos muestra que en estos suelos el decaimiento de infiltración es mucho más lento y pausado que en otras zonas de estudio.

Si comparamos la distribución de frecuencias de α entre las zonas de calizas del Campaniense y arcillas del Keuper (figura 6.13) se podrá deducir un comportamiento totalmente diferente. Si bien los valores superiores a $0,6 \text{ min}^{-1}$ siguen siendo poco importantes en las zonas calcáreas, el segundo grupo ($0,3-0,6 \text{ min}^{-1}$) es mucho más importante, reduciéndose el valor relativo del primer grupo de experimentos ($0-0,3 \text{ min}^{-1}$). Además en este último grupo de experimentos nos encontramos con un cambio significativo: la frecuencia con mayor número de muestras es $0,1-0,2 \text{ min}^{-1}$.

Los cambios vistos con anterioridad, tendencia a mayores valores de α , se ven acrecentados en los suelos sobre margas del Senoniense, donde además de encontrar valores cada vez más importantes en el segundo grupo de frecuencias ($0,3-0,6 \text{ min}^{-1}$),

en el primero ($0-0,3 \text{ min}^{-1}$) el rango más importante es $0,2-0,3 \text{ min}^{-1}$ (figura 6.13). Un ejemplo de estos cambios es que la frecuencia $0-0,1 \text{ min}^{-1}$ es igual de numerosa que $0,3-0,4 \text{ min}^{-1}$, mientras que en los suelos sobre calizas del Campaniense y arcillas del Keuper era la mitad y diez veces menor respectivamente.

Las diferencias entre las tres zonas de estudio nos demuestran una clara influencia de la litología sobre la infiltración, en el sentido de que las curvas de escorrentía son mucho más empinadas en los suelos sobre margas que sobre calizas, y estos últimos que los suelos sobre arcillas del Keuper. En esta relación de α con las litologías, a las arcillas del Keuper posiblemente le seguirían las areniscas del Bundsanstein, pero el nulo número de experimentos con escorrentía sobre estas zonas no nos permite hacer una afirmación categórica de esto.

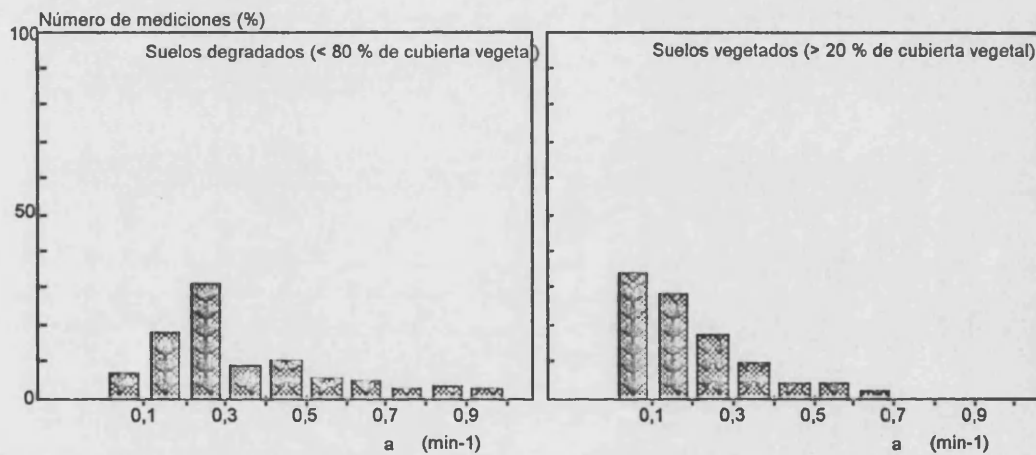


Figura 6.14. Distribución de frecuencias de α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo en suelos sobre margas del Senoniense en distintas condiciones de cubierta vegetal: vegetados ($> 20 \%$, $n^{\circ} 63$) y sin vegetación (*badlands* $< 20 \%$, $n^{\circ} 95$). Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos

Hay que destacar que los cambios temporales de la tasa de infiltración no sólo están influidos por la litología, sino que otros dos factores alteran claramente la distribución de frecuencias de α : la **humedad** del suelo, como veremos más adelante al tratar la estacionalidad, y especialmente el grado de desarrollo del suelo, relacionado sin duda con la **cubierta vegetal**.

Un ejemplo de este control de la vegetación sobre la forma del hidrograma lo tenemos en las zonas de abarrancamientos del sur del País Valenciano: Petrer y Monnegre. En estas superficies de *badland*, los suelos con cubiertas vegetales inferiores al 20% presentan una distribución de frecuencias de α de asimetría derecha con la

moda en el rango 0,2-0,3 min^{-1} , mientras que en los suelos vegetados (> 20) el rango está en el intervalo menor: 0-0,1 min^{-1} (figura 4.15). Este comportamiento de la población de α medida a partir de lluvia simulada nos demuestra que la vegetación favorece la producción de escorrentías con cambios temporales en la tasa de infiltración menores, o lo que es lo mismo, los suelos degradados y no vegetados tienen curvas de escorrentías más empinadas que los suelos vegetados.

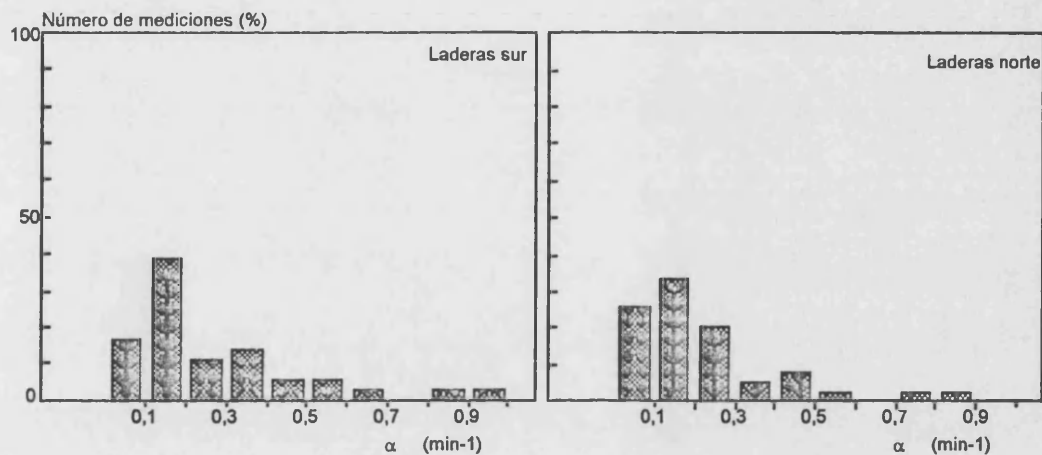


Figura 6.15. Distribución de frecuencias de α discriminando entre las laderas norte (nº 39) y sur (nº 36) de Anna, arcillas del Keuper y Genovés, calizas del Campaniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1})

Otro ejemplo, aunque menos claro debido a las menores diferencias en la cubierta vegetal lo encontramos al comparar las distribuciones de frecuencias de α de laderas norte y sur de Anna y Genovés (figura 4.15).

6.1.5.2. Relación entre la magnitud y las variaciones espaciales de α

Como ya hemos comentado anteriormente para cada zona de estudio, la relación del decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo (α) y el coeficiente de variación es negativa, lo cual se puede comprobar gráficamente en la figura 6.16. La relación negativa presenta una elevada dispersión ($r^2 = 0,32$), pero, si hay dudas de este comportamiento, es posible confirmarlo en la figura 6.28, basada en experimentos realizados sobre suelos húmedos. Estos resultados parecen ilógicos, pues cuanto mayor es el valor de α mayor es la degradación de los suelos, como hemos demostrado repetitivamente, ya que la capacidad de infiltración es menor y la variabilidad espacial mayor (ver figura 6.11 y 6.12).

Este comportamiento es fruto de que la curva del hidrograma (α) no es un parámetro relacionado directamente con la infiltración, como ocurre con f_c (tasa de infiltración final estable medida a partir de experimentos con lluvia simulada), sino que es fruto de la medición de la escorrentía, y responde por lo tanto a la hidrología superficial del suelo en su conjunto y no de la infiltración.

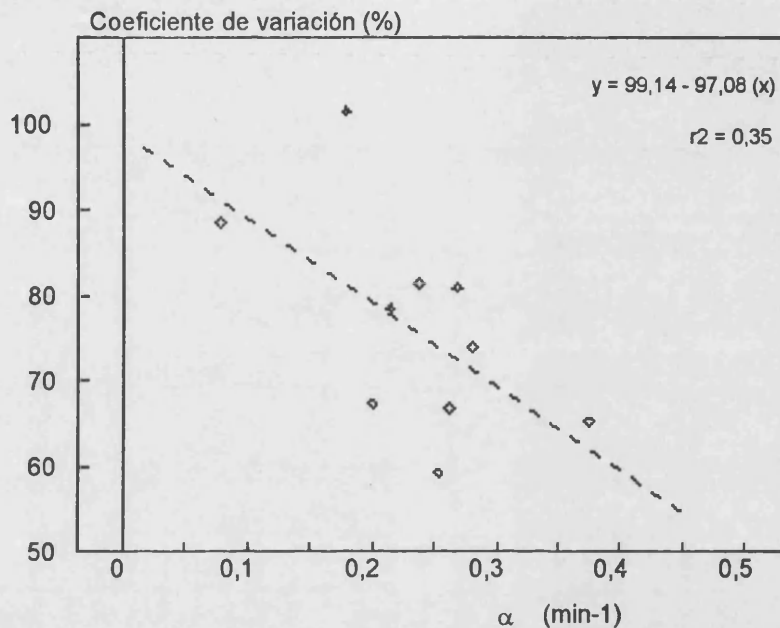


Figura 6.16. Relación entre el valor medio de α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo, min⁻¹) según las distintas zonas de estudio y el coeficiente de variación (%) para suelos secos. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹)

Para comprobar las anteriores afirmaciones, presentamos en la figura 6.17 la relación entre la variabilidad espacial de α mediante el coeficiente de variación (%) como en el caso anterior, con el valor absoluto del decaimiento de la tasa de infiltración (α), pero medida con *infiltrómetro de cilindro*, técnica con la que sí se toman mediciones directas de la curva de infiltración.

Así, según los resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro, nos encontramos con una aumento de la variación espacial de α con el aumento de su magnitud, lo que sí responde al comportamiento de la infiltración, ya visto con el parámetro f_c : aumento de la variabilidad espacial con la degradación de los suelos y con la reducción de su capacidad de infiltración.

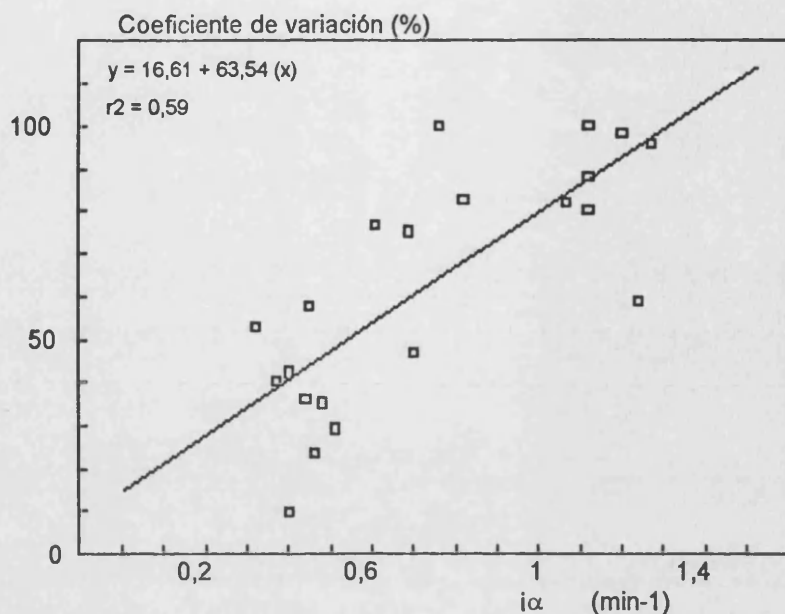


Figura 6.17. Relación entre el valor medio de $i\alpha$ (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo) según las distintas zonas de estudio y el coeficiente de variación (%) para suelos secos. Los datos proceden de experimentos con infiltrómetro de cilindro

* * *

Como hemos visto en los capítulos anteriores, las **variaciones espaciales de la infiltración son muy importantes**, ya que en una misma zona nos podemos encontrar con respuestas a la lluvia simulada totalmente diferentes entre dos suelos, debido a las diferentes cubierta vegetales, posición geomorfológica, exposición, etc.

El nivel de variabilidad de la infiltración se ha revisado, en primer lugar, mediante una visión de conjunto de todos los experimentos realizados sobre suelos secos, demostrándose que los suelos con altas tasas de infiltración son los más importantes porcentualmente **en todo el País Valenciano**. Estas características, junto a valores de escorrentía reducidos, tasas de infiltración elevadas en el minuto 30 del experimento, escorrentías medias inferiores a 5 mm h^{-1} en más de un 25 % de los experimentos, etc., demuestra que la respuesta de los suelos secos en el País Valenciano está caracterizada por una muy elevada tasa de infiltración y unos muy bajos volúmenes de escorrentía.

Otra característica de la hidrología superficial de los suelos es que el decrecimiento de las tasas de infiltración es en término medio lento, ya que el 60 % de los casos está entre 0 y $0,3 \text{ min}^{-1}$, siendo el rango mayoritario $0,1-0,2 \text{ min}^{-1}$ (parámetro α de la ecuación de Horton). Esto responde a inicios de las curvas de escorrentía en un

60 % de los casos entre los minutos 4 y 10, y a la estabilización de la infiltración en más de un 50 % de los casos entre los minutos 15 y 25.

Este comportamiento temporal de la tasa de infiltración es diferente cuando las mediciones se realizan con infiltrómetro de cilindro, debido a que la rápida saturación del suelo por el elevado caudal del *input* da lugar a curvas de infiltración con pendientes de $0,3 \text{ min}^{-1}$ (α) superiores a cuanto se mide con lluvia simulada.

Para el parámetro f_0 , medido tanto con simulador de lluvia como con infiltrómetro de cilindro, la distribución de frecuencias es en *forma de J*, con la moda en el rango de magnitud inferior

A nivel de zonas de estudio, la variabilidad de la infiltración es diferente para cada tipo de suelo. Así, tenemos que en los suelos sobre areniscas del Bundsanstein en Puçol, todas las pruebas dieron lugar a la infiltración del 100 % de la precipitación, mientras que las zonas sobre arcillas del Keuper y calizas del Campaniense, esta cifra se redujo al 50 % de los suelos. Tanto en Anna, como en Genovés y Bolbens, la distribución de frecuencias fue en *forma de J*, con la moda en el rango de 55 mm h^{-1} . Para los suelos de las zonas sobre margas del Senoniense, Petrer y Monnegre, la distribución de frecuencias es bien distinta, con distribuciones bimodales que en los rangos inferiores a 25 mm h^{-1} tienen una importancia considerable. Por lo tanto en cada tipo de suelo la variabilidad espacial de f_c es distinta, siendo especialmente diferente en el caso de los cuencas de drenaje degradadas sobre margas del Senoniense del sur del País Valenciano.

En general, en el País Valenciano y a escala de ladera, la variabilidad espacial de la infiltración responde a dos modelos dependientes de los patrones de distribución espacial de la cubierta vegetal.

El modelo o patrón mayoritario en zonas sobre litologías blandas (Anna sería el ejemplo más claro) responde a un comportamiento contrastado entre las superficies desnudas -partes bajas de las laderas, especialmente la ladera sur, y superficies vegetadas, concretamente las partes altas no afectadas por la incisión basal.

Para las litologías duras (Genovés es el ejemplo más claro), el modelo espacial de distribución de f_c es semejante en ambas ladera, pero el número de superficies con bajas o medias tasas de infiltración aumenta al reducirse la superficie ocupada por las matas de matorral denso.

Puntualmente se pueden encontrar comportamientos más específicos. En Puçol, los suelos sobre areniscas del Bundsanstein no presentan el mismo modelo, debido a que las altas cubiertas vegetales y las características hidrológicas de los suelos son

diferentes, pudiéndose definir como un sistema hidrológico en el que la precipitación es infiltrada en su totalidad por el suelo, y por lo tanto, la generación de la escorrentía debe estar generada por flujos subsuperficiales.

En las zonas incendiadas, como se explicó en el capítulo 4, se reconoció un modelo inicial (tras el incendio) en el cual la baja infiltrabilidad y la elevada homogeneidad era el factor dominante, para progresivamente transformarse en un modelo similar al de Genovés en el que la vegetación dominaba la variabilidad espacial de la infiltración.

En las zonas de campos abandonados, la Vall de Gallinera, nos encontramos con que se pasa, tras el abandono de un modelo espacial de infiltración muy homogéneo (en todas las superficie se pasa de un 100 % de infiltración debido al laboreo), a un modelo en el que dominan las variaciones espaciales introducidas por la vegetación, siendo mayores en función del estadio de recolonización vegetal, aunque la colonización inicial del matorral produce mayor heterogeneidad y las herbáceas mayor homogeneidad espacial de la infiltración.

Un modelo semejante al de Genovés, pero con una mayor densidad de los suelos con bajas capacidades de infiltración (superficies entre matorrales), lo encontramos en suelos sobre arcillas del Keuper en zonas áridas pero sin síntomas de degradación. Nos referimos a los suelos vegetados de la parte alta de la ladera sur de Anna, en la cual aún no se ha hecho patente la erosión remontante, lo que también sucede en los suelos sobre arcillas del Keuper de la zona de Monnegre.

El análisis de la relación entre la magnitud y la variabilidad de la infiltración ha demostrado que con la reducción de las tasas de infiltración estables se produce un aumento de la variabilidad. Esta tendencia es similar tanto para las mediciones con infiltrómetro de cilindro, como con lluvia simulada, y confirma la hipótesis latente en el mundo científico de que son las unidades de suelos más degradados los que además de tener tasas de infiltración menores tienen variaciones mayores.

El aumento de la humedad durante las estaciones del otoño, invierno y primavera, y con ello la reducción de la infiltrabilidad de los suelos, da lugar a un aumento de la variabilidad espacial de la infiltración, según nuestros resultados con lluvia simulada.

Este mismo comportamiento de la variabilidad espacial de la capacidad de infiltración estable (f_c) se ha descubierto para el decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo (α) cuando se toman mediciones directas de infiltración (con infiltrómetro de cilindro), pero no cuando se toman de escorrentía (con lluvia simulada).

Con el aumento del valor de α , se produce un aumento de la variabilidad espacial, lo que es evidentemente muy coherente si tenemos en cuenta que cuanto más degradado es un suelo, además de absorber menos agua, se satura más pronto por la menor porosidad y alcanza rápidamente el valor máximo o tasa de infiltración final estable.

La reducida validez del parámetro α como medida de la infiltración cuando se mide a partir de experimentos con lluvia simulada hace que su comportamiento se tenga que entender más como un parámetro de la escorrentía o de la hidrología superficial del suelo en sentido global.

6.2. Variabilidad estacional

Además de las variaciones espaciales, la infiltrabilidad de los suelos tiene comportamientos estacionales muy concretos, como consecuencia de los cambios en la humedad edáfica. En las regiones con clima mediterráneo, debido a la aridez estival, se puede distinguir con nitidez una contrastada diferencia en el comportamiento hidrológico de los suelos, debido a las variaciones en la humedad. Dentro de las estaciones no áridas, existen periodos secos, incluso de amplitud temporal muy importante, pero las mayores tasas de sequedad del suelo pertenecen siempre a los periodos veraniegos, debido a la mayor insolación, temperaturas elevadas, transpiración de los vegetales, etc.,

Como hemos vistos en el apartado precedente, la respuesta ante la lluvia simulada ha sido diferente en el grupo de experimentos realizados en verano de los realizados en primavera, verano y otoño (ver apartado 6:1.4.1). A pesar de la importancia del factor estacional sobre la infiltrabilidad de los suelos, no han proliferado una gran cantidad de trabajos, si bien es cierto que varios autores han encontrado en el régimen pluviométrico al responsable de estas variaciones. Claro está, como hemos visto anteriormente, que altos contenidos de agua en los suelos favorecen menores infiltraciones, pero también hay que tener en cuenta que la actividad biológica, el impacto antrópico, y el tipo de suelo pueden condicionar estas variaciones espaciales y temporales.

6.2.1. Variaciones estacionales de la tasa de infiltración final estable (fc) y de los patrones de producción de escorrentía

El estudio de las variaciones estacionales se realizó durante todo el año 1990 en seis zonas de estudio: Puçol, Torís, Genovés, Anna, Petrer y Monnegre, aunque otras dos zonas de estudio, Bolbens y Pedralba, aportaron datos de una forma indirecta sobre

estas cuestiones (ver apartado 4.5 y 4.6). A continuación, presentamos la evolución estacional del parámetro fc de la ecuación de Horton, el cual nos informa de los cambios en la infiltrabilidad de los suelos en el sentido de la magnitud o volumen de agua infiltrado ante una lluvia simulada estándar de 55 mm h^{-1} para cada una de las setenta y tres parcelas fijas estudiadas en esta investigación. Además de las variaciones de fc , se hace especial hincapié sobre los cambios estacionales de los patrones de producción de escorrentía, lo que sin duda es una clara respuesta ante el aumento de la humedad.

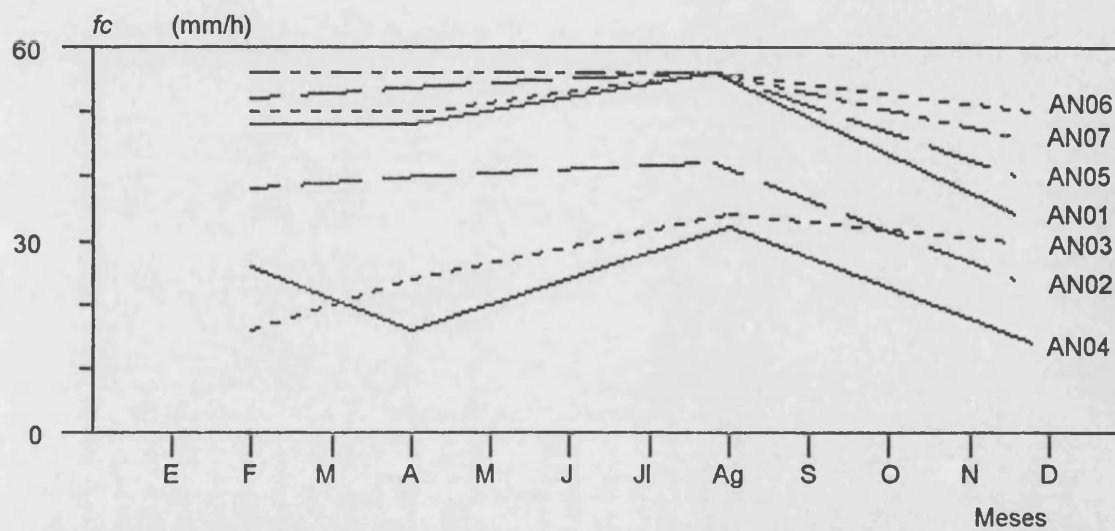


Figura 6.18. Evolución de fc (tasa de infiltración final estable) en Anna, arcillas del Keuper. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

En el caso de **Anna**, sobre **arcillas del Keuper**, nos encontramos con una evolución de los valores de fc similar en todas las parcelas, siendo el periodo estival el que presenta los mayores valores. Las diferencias entre los valores de fc de los experimentos realizados en febrero y abril no es muy importante, excepto para las parcelas situadas en ambientes degradados (AN03 y AN04), donde la inexistencia de vegetación permite el rápido secado del suelo, y la alteración de las tasas de infiltración.

Esta influencia de humedad previa se ve reflejada en cambios temporales en la generación de la escorrentía. En los periodos húmedos, tp (tiempo en el que se produce el encharcamiento, 40 % de la superficie) y te (tiempo de inicio de la escorrentía en superficies) son muy cortos, 2-3 minutos para los suelos desnudos y 2-6 minutos para los suelos vegetados de tp , mientras que en verano estos tiempos fluctúan entre 5-9 y 7-12 minutos respectivamente. Respecto a te se produce entre 1 y 10 minutos después del tp , pero los tiempos menores corresponden a suelos con baja o inexistente cubierta

vegetal, especialmente durante los periodos húmedos. En el caso de los suelos vegetados (> 80 % de cubierta vegetal) lo normal es que no se produzca escorrentía en los periodos secos.

Las pocas diferencias existentes entre los suelos vegetados (AN01, AN05, AN06, AN07) podrían aumentar si la intensidad de la lluvia hubiera sido mayor, ya que excepto los experimentos realizados en noviembre de 1990 con los suelos muy húmedos, hay pocas diferencias entre los restantes experimentos. Incluso en verano no se consigue superar la capacidad de infiltración con 55 mm h^{-1} de precipitación en cuatro de las parcelas estudiadas: las tres de la ladera norte y una de la parte alta de la ladera sur (figura 6.18).

El extraño comportamiento de AN03 durante el experimento de finales de año se debe a pequeñas alteraciones de la costra superficial (sin determinar el origen), lo que favoreció una tasa de infiltración final estable de unos 10 mm h^{-1} mayor a la esperada.

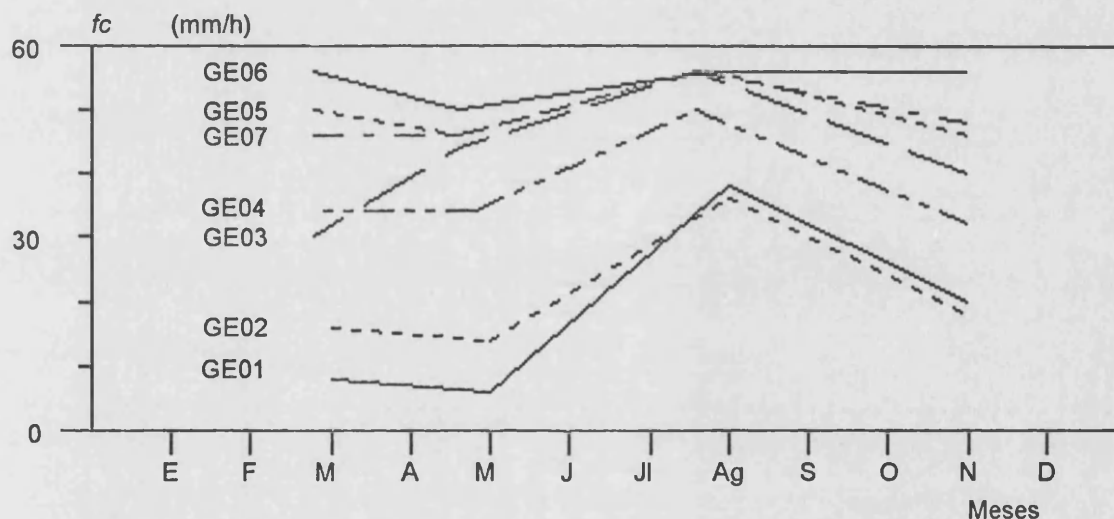


Figura 6.19. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Genovés, calizas del Campaniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

En Genovés, sobre calizas del Campaniense, se vuelve a repetir el mismo patrón estacional que en Anna: pequeñas diferencias entre invierno y primavera, que pueden deberse a distintos niveles de actividad biológica o a diferentes contenidos de humedad, con altas tasas de infiltración en verano, para volver en otoño a los valores de las dos primeras estaciones (figura 6.19).

Los suelos de la ladera sur, además de su baja capacidad de infiltración, especialmente en los periodos húmedos, se caracterizan por tener un t_p en los periodos húmedos muy rápido (1-2 minutos), con un t_e casi instantáneo (en el siguiente minuto). En los periodos secos t_p se produce entre 2-7 minutos y t_e es mucho más retrasado, incluso diez minutos más tarde, o bien no se produce. En la ladera norte, durante los periodos húmedos, t_p se produce muy pronto (2-3 minutos) y t_e se sigue con rapidez (1 min). En verano normalmente ni t_p ni t_e se produce, y cuando lo hace le muy retrasado (t_p , 10 y t_e 20 minutos).

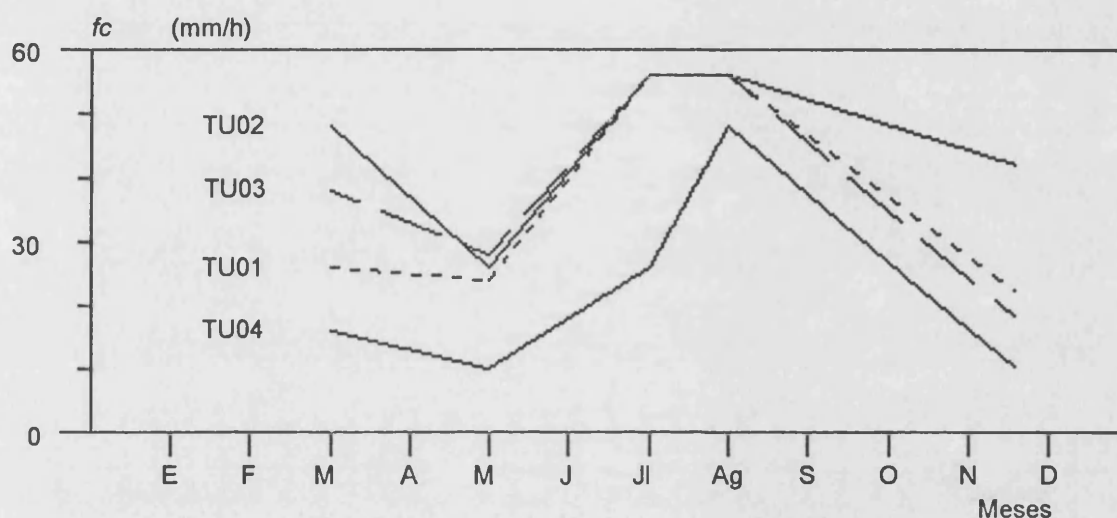


Figura 6.20. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Torís, arcillas del Keuper. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

En Torís, sobre arcillas del Keuper, con cinco mediciones sobre cuatro parcelas durante un año se puede comprobar que la tendencia general es a una infiltración media durante los periodos húmedos con alternancias relacionadas con el contenido de humedad y un periodo estival en el que la infiltración generalmente supera la precipitación en suelos vegetados.

En los suelos de la ladera norte de Torís, t_p se produce en los periodos húmedos de forma rápida (1-3 min) y t_e casi instantáneamente (2-5 min), pero en los periodos secos estos cambios superficiales no se producen, ya que ni tan siquiera el suelo se encharca.

En la zona sobre areniscas del Bundsanstein, Puçol, se produjo un modelo de evolución temporal de f_c idéntica a las zonas vistas anteriormente, aunque las diferencias entre estaciones fueron menores debido a la elevada infiltrabilidad.

En los periodos húmedos, se produce el encharcamiento de forma similar a otras zonas (entre el minuto 1 y 6) y el t_e entre el 2 y el 9. Esto nos indica que a pesar de la alta capacidad de infiltración de estos suelos, los patrones de la evolución estacional de f_c no son muy diferentes al resto de suelos (comparar la figura 6.21 con las anteriores).

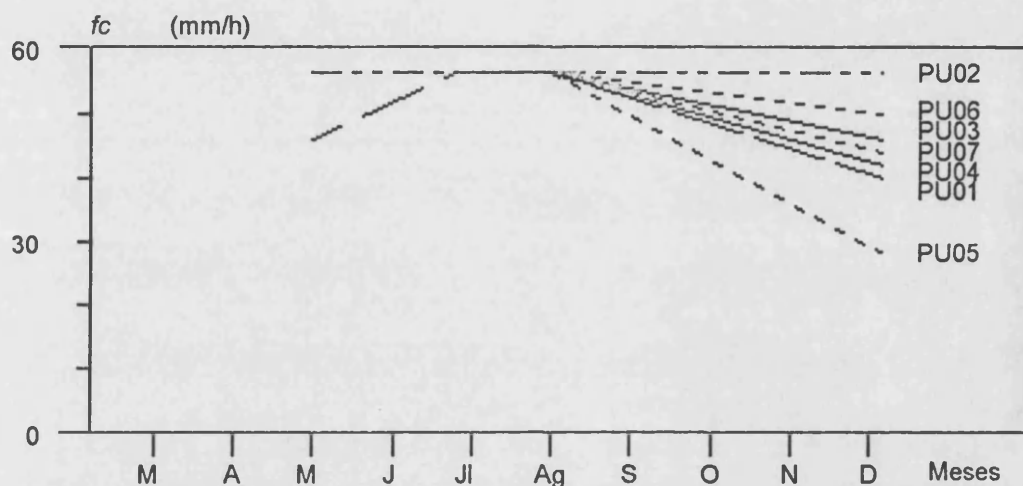


Figura 6.21. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Puçol, areniscas del Bundsanstein. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

Del análisis de la evolución estacional de f_c en las dos zonas sobre margas del Senoniense, se desprende que junto al modelo simple de alternancias entre el verano y el resto de las estaciones, visto en otras zonas, si existe otro en el que tienen cabida variaciones más importantes.

En Petrer se repite la mayor infiltración en verano, pero además hay que destacar la presencia de ligeras alteraciones, como ocurre en las parcelas PR18, PR05 y especialmente PR04, donde costras superficiales asociadas a especies como *Stipa tenacissima* propician la reducción de la capacidad de infiltración por la elevada sequedad del suelo en verano, apareciendo rasgos de hidrofobicidad en la curva de escorrentía (ver figura 4.6 y apartado 4.2.1). Los tres casos comentados son parcelas estudiadas en suelos sobre derrubios del glacis arenoso, suelos todos ellos con fuertes encostramientos, aunque en todos los casos, excepto en PR04 estas costras están rotas bien por el pastoreo, bien por procesos erosivos naturales.

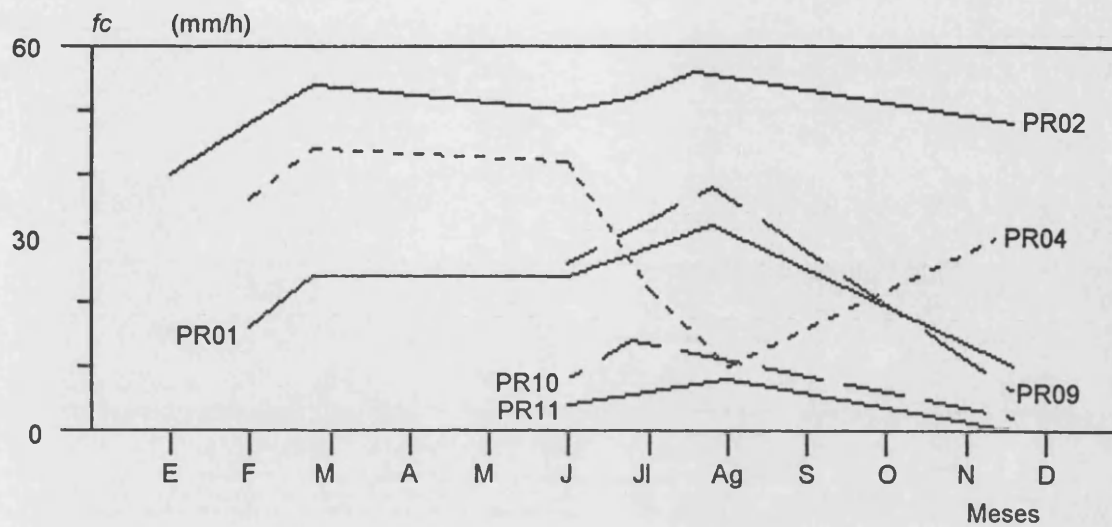


Figura 6.22. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Petrer, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

Los modelos temporales de la producción de escorrentía, como en otras zonas, están determinados por la humedad del suelo. En los suelos con cubiertas vegetales superiores al 50 % (vegetados), en los periodos húmedos t_p varía entre 2-6 minutos y t_e entre 3-8 minutos, en cambio en verano esta situación se retrasa el t_p hasta valores de 10 minutos y t_e de 15 min, si bien en estas superficies no se produce escorrentía normalmente (PR02). Cuando en estas superficies vegetadas existen costras (generalmente biológicas), los valores de t_p se reducen en los periodos secos a 3-5 min y t_e a 6-8 min (PR09, PR16). Las diferencias entre estos dos tipos de superficies durante los periodos húmedos son inexistentes.

En el caso de las superficies más degradadas, *badlands*, nos encontramos con patrones de producción de escorrentía muy diferentes entre las diferentes estaciones. En los periodos húmedos, t_p se produce durante el primer minuto, y t_e en el minuto siguiente. En los periodos secos, los cuales se pueden producir en cualquier estación del año en este tipo de superficies (especialmente en las laderas sur) por la rápida desecación de suelos sin vegetación, t_p se puede producir desde el minuto 2 al 10, y t_e desde el 3 al 20. Estas importantes diferencias se producen por la gran variabilidad espacial de los *badlands* y por las fuertes variaciones estacionales de la humedad, las cuales controlan la hidrología de estas superficies. Hay que hacer mención a la importancia de las grietas, especialmente por su tamaño y persistencia, al controlar tanto

el agua que se infiltra, como la generación de la escorrentía al menos al principio del proceso.

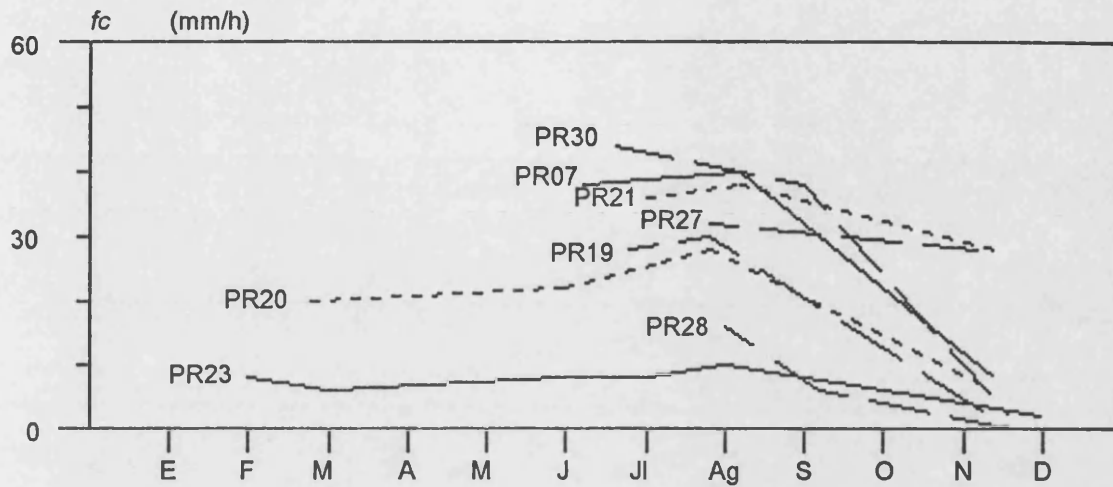


Figura 6.23. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Petrer, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

En los suelos encostrados sobre los derrubios arenosos del glacis en Petrer, ladera sur vegetada (20 % de cubierta vegetal), a pesar de que nos encontramos ante suelos que en los periodos de máxima sequedad muestran rasgos de hidrofobicidad y una menor tasa de infiltración final estable, los patrones temporales de producción de escorrentía en términos medios son similares a la del resto de suelos: t_p (1-1,3 min) y t_e (2-2,3) en otoño y t_p (2-4 min) y t_e (3,3-8 min) en verano.

Los suelos Pedregosos o Enlosados (PR06, PR07 y PR12) tienen comportamientos similares para f_c a los *badlands*, pero con la diferencia que en los periodos secos la inexistencia de grietas da lugar a diferencias insignificantes entre verano y otoño, al contrario que en los *badlands*. En los suelos con los fragmentos de piedras sobre la superficie del suelo (PR06) en otoño la respuesta a la lluvia simulada es muy rápida (t_p , 1 min y t_e , 2,3) y en verano se retasa claramente (t_p , 4,15 y t_e 4,3 min).

Los suelos sobre campos de cultivo abandonados (PR21 y PR22) sufren un comportamiento semejante al resto de suelos degradados de Petrer. En las superficies no vegetadas, t_p se produce antes del minuto 1 durante las estaciones húmedas, y t_e antes del minuto 1,3, mientras que en verano los dos cambios se retrasan entre uno y

dos minutos. En los vegetados t_p y t_e no hay grandes diferencias en los periodos húmedos, pero en los secos se llega a retrasar hasta más allá del minuto 5.

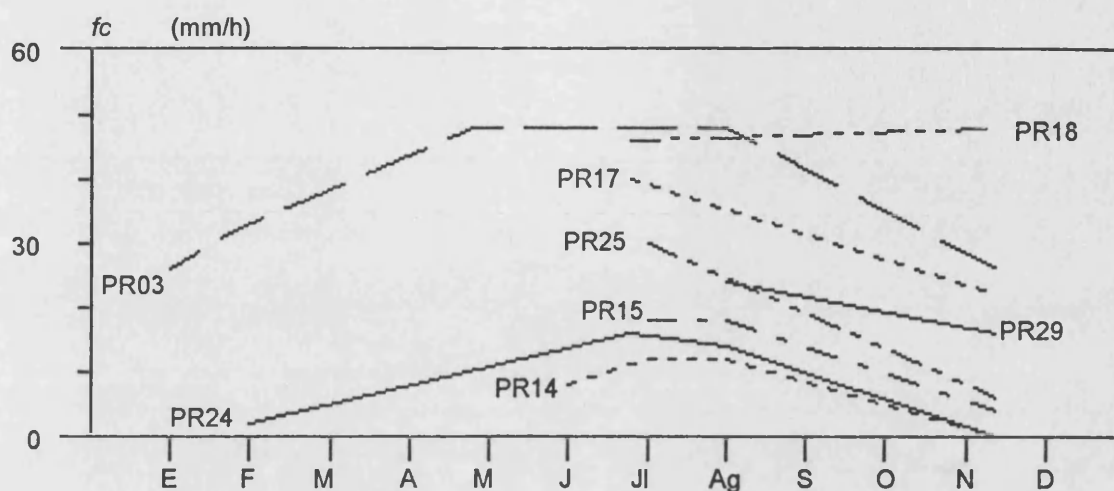


Figura 6.24. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Petrer, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

Por lo que respecta a la evolución de f_c , hay que destacar que en el caso de **Petrer** se pueden producir en periodos invernales situaciones similares a las del verano, debido a la irregularidad del clima y a la baja capacidad de retención de la humedad de los suelos sin cubierta vegetal. Mas que ante situaciones estacionales nos encontramos ante situaciones específicas del estado del suelo controladas por las precipitaciones y las tasas de evaporación.

La importancia de la humedad se refleja en cambios en el estado de las grietas, lo que producirá umbrales muy importantes entre f_c en periodos secos y húmedos. En este caso se encuentran suelos como PR19 y PR30, los cuales a pesar de ser superficies encostradas y desnudas de vegetación (*badlands*) en verano alcanzan importantes tasas de infiltración debido a que las grietas son capaces de conducir agua hasta profundidades de 20-30 cm. En los periodos húmedos, esto no es posible porque los suelos no tienen grietas o en todo caso son poco importantes y poco profundas.

Es de destacar que tanto en los suelos desnudos de Petrer, como de Monnegre (*badlands*), es posible encontrar situaciones en las estaciones húmedas (otoño, invierno y primavera) con valores de f_c altos debido a los bajos niveles de agua en el suelo (ver figuras, 6.23 a 6.28), si bien es normalmente el periodo estival en el que la sequedad del

suelo es lo suficientemente importante para crear grietas profundas y niveles de humedad inferiores a 2 %, incluso a 10 cm de profundidad.

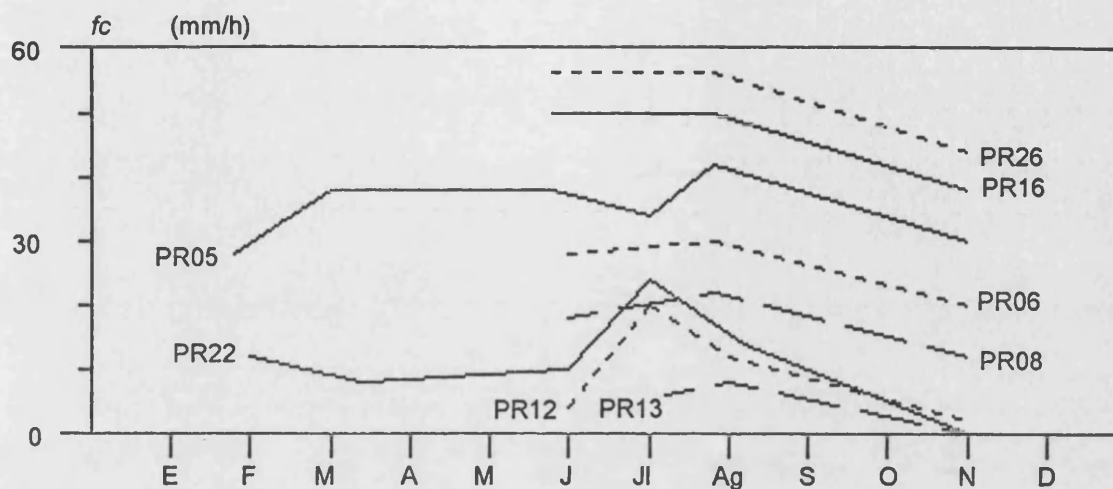


Figura 6.25. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Petrer, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

Las grandes diferencias en la respuesta a la lluvia simulada de los suelos tanto de Petrer como de Monnegre, responde en ocasiones a cuestiones puntuales. Concretamente en el caso de Monnegre, nos encontramos con que algunos de los experimentos realizados en mayo, se llevaron a cabo después de una insignificante lluvia caída 24 horas antes (2-3 mm). Esto hizo que las superficies desnudas como MN18, MN03, MN01, MN04, MN13, etc., humectadas por la lluvia natural, presentasen valores de f_c muy bajos. En otros suelos, MN17, MN08, MN16, etc., la elevada cubierta vegetal interceptó parte de la lluvia y por ello la más alta capacidad de retención hídrica de los suelos no produjo cambios importantes respecto a la medición realizada en marzo. Por lo tanto, no sólo influye en la respuesta la época del año, si ésta ha sido o no húmeda, si ha llovido recientemente o no, etc., también influyen características propias de los suelos, como el volumen de agua capaz de retener la vegetación, o el volumen de agua necesario para influir realmente en la respuesta del suelo a la intensidad de lluvia utilizada por nosotros, etc.

En el caso de Monnegre, nos encontramos con diferentes tipos de superficies, y en ellas se producen diferentes patrones de producción de escorrentía. En las superficies desnudas, *badlands*, el inicio de la escorrentía durante los periodos más húmedos es muy rápido; t_p se produce entre el minuto 1 y 3 y t_e en el intervalo de 30-60

segundos después. En los periodos secos, exclusivamente en verano, tp aparecen entre los minutos 2-5 y te entre el 3,5 y el 7. En suelos degradados con abundantes líquenes (MN10 y MN09) y en los muy pedregosos (MN05 y MN07), el comportamiento es idéntico a los suelos desnudos de los *badlands*.

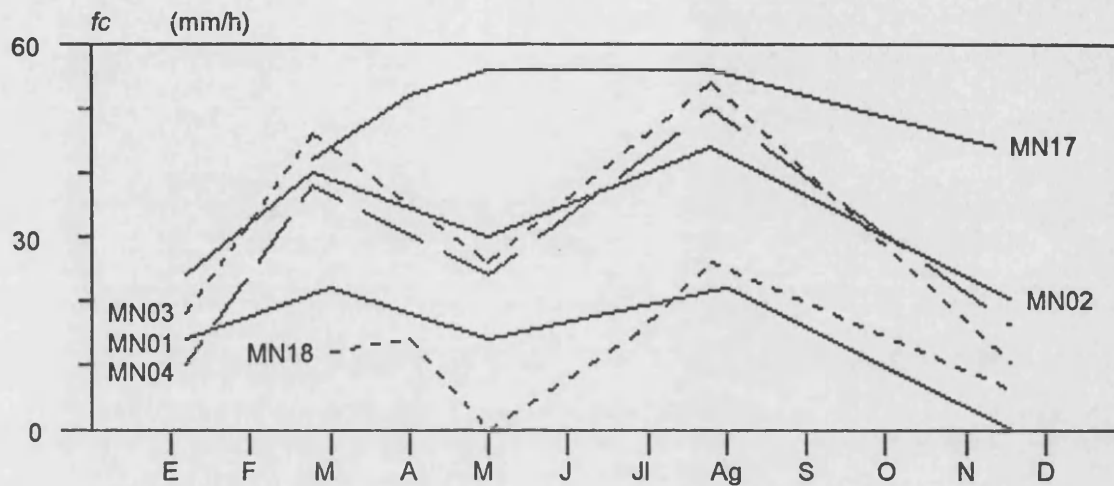


Figura 6.26. Evolución de fc (tasa de infiltración final estable) en Monnegre, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

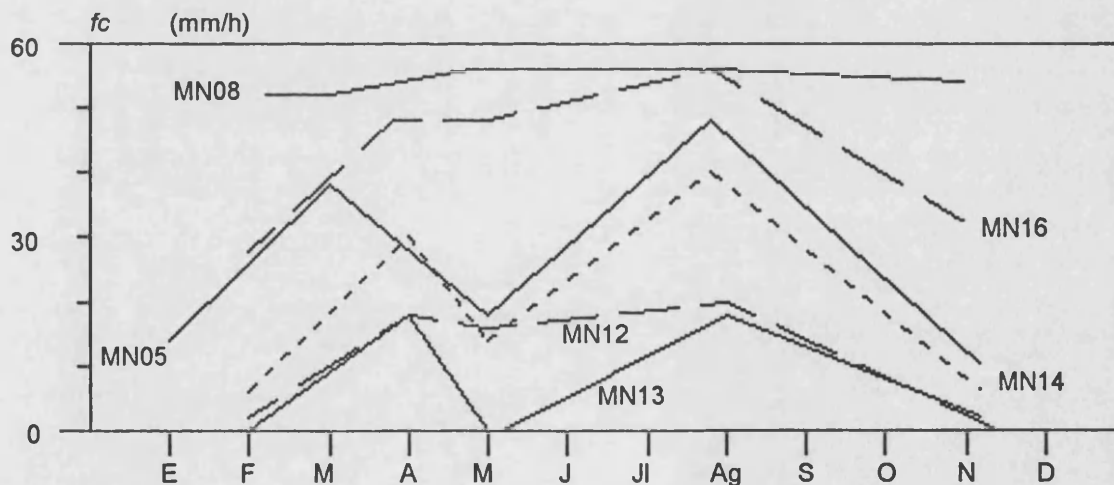


Figura 6.27. Evolución de fc (tasa de infiltración final estable) en Monnegre, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

En los suelos con **cubiertas vegetales importantes**, nos encontramos con que en los periodos secos, especialmente en verano, la escorrentía es insignificante, pero cuando se produce, ésta corresponde a encharcamientos muy retrasados (incluso después del minuto 10). Durante los periodos húmedos, aunque t_p y t_e son más rápidos que durante el verano, éstos siguen siendo algo más retrasados que en otras superficies, aunque en algunos casos con encostramientos superficiales, a pesar de la cubierta vegetal (MN14, MN15, MN16), la escorrentía se produzcan relativamente pronto (minutos 2-5).

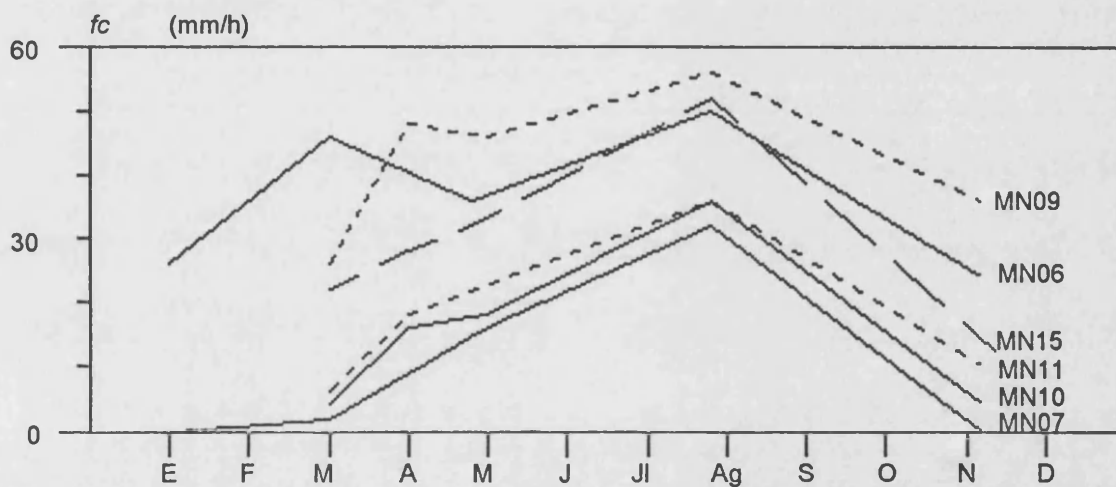


Figura 6.28. Evolución de f_c (tasa de infiltración final estable) en Monnegre, margas del Senoniense. Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) realizados a lo largo de 1990

6.2.2. Variaciones estacionales de los cambios temporales de la infiltración

La influencia de la humedad del suelo sobre las variaciones temporales de la infiltración es evidente al estudiar zona por zona las dos estaciones del año esenciales en nuestro clima: el verano, como estación seca debido a su aridez, y las tres estaciones restantes (otoño, invierno y primavera), como periodos húmedos. El estudio discriminando zonas de estudio o tipos de suelos nos permitirá conocer la variaciones espaciales de este comportamiento estacional de α , el cual ha sido elegido como el mejor parámetro indicador de la forma de las curvas de infiltración.

Por razones antes comentadas, en el tratamiento estadístico (apartado 3.5) se han utilizados exclusivamente los experimentos con valores de α inferiores a 1 min^{-1} , con más del 95 % de la muestra.

6.2.2.1. Variaciones espaciales de α . Zonas de estudio y tipo de suelos

El estudio zona por zona de los valores medios de todos los experimentos realizados (tanto en suelos húmedos como secos) nos muestra que las curvas con más pendiente (α) son las pertenecientes a los suelos incendiados de Pedralba ($0,42 \text{ min}^{-1}$), seguidos por las de zonas donde la capacidad de infiltración es muy baja como Petrer y Monnegre ($0,32 \text{ min}^{-1}$ y $0,31 \text{ min}^{-1}$, respectivamente). Este comportamiento de la infiltración está determinada en ambos casos por los suelos húmedos y encostrados de la zona incendiada de Pedralba, mientras que en el caso de las zonas sobre margas son debidos esencialmente a las superficies de *badlands*. Otros suelos muestran curvas de infiltración con pendientes muy bajas, Anna, Torís y Requena ($0,18$, $0,08$ y $0,21 \text{ min}^{-1}$, respectivamente), mientras que otros tienen comportamientos intermedios: $0,25 \text{ min}^{-1}$ en la Vall de Gallinera y $0,27 \text{ min}^{-1}$ de Genovés.

	MEDIA mm h^{-1}
ANNA	0,18
GENOVÉS	0,27
PETRER	0,31
PEDRALBA	0,42
BOLBENS	0,26
PUÇOL	0,27
TORÍS	0,21
MONNEGRE	0,32
MEDIA	0,30
<i>BADLAND</i>	0,26
INCENDIO	0,28
KEUPER	0,18
KEU-BAD	0,16
MAR-BAD	0,33

Tabla 6.12. Valor medio y del parámetro α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo, min^{-1}) para todos los experimentos por zonas de estudio y grupos de suelos específicos. INCENDIO: suelos incendiados, KEUPER: arcillas del Keuper y *BADLAND*: superficies desnudas sobre margas del Senoniense (MAR-BAD) o arcillas del Keuper (KEU-BAD). Los datos proceden del ajuste de la ecuación de Horton a datos de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos con diferentes niveles de humedad

El caso de Bolbens, los valores de α son ligeramente inferiores ($0,26 \text{ min}^{-1}$) a los de Genovés debido a que el primer caso solo abarca suelos en laderas norte.

Como mostramos en la tabla 6.12 las diferencias más claras se encuentran entre los suelos incendiados, con las mayores pendientes en las curvas ($0,28 \text{ min}^{-1}$) y los suelos desarrollados sobre arcillas del Keuper con curvas de escorrentía muy bajas ($0,18 \text{ min}^{-1}$).

En el caso de los suelos con morfologías superficiales agrietadas y sin vegetación (*badlands*), la pendiente de la curva ($0,26 \text{ min}^{-1}$) es en general incluso más baja que la media de todos los experimentos ($0,27 \text{ min}^{-1}$), pero hay una clara diferenciación interna, ya que los *badlands* sobre arcillas del Keuper tienen decrecimientos de la tasa de infiltración muy bajos ($0,16 \text{ min}^{-1}$), mientras que en los *badlands* en margas del Senoniense los valores de α medios son de $0,33 \text{ min}^{-1}$.

El decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo es mayor en los suelos degradados (*badlands*) sobre margas del Senoniense, lo que está en una clara relación con las bajas cubiertas vegetales, la reducida porosidad y las bajas tasas de infiltración de los suelos con estas características. En segundo término, nos encontramos con los suelos incendiados, en los que sin duda influye la pérdida de vegetación, y en la influencia que ésta ofrece en el control de la curva de escorrentía. Los suelos sobre litologías duras, calizas y areniscas del Bundsanstein ocupa una situación intermedia entre los suelos sobre margas, con una fuerte pendiente en la curva de infiltración, y los suelos sobre arcillas del Keuper, con una reducción temporal de las tasas de infiltración muy bajas. En el caso de las areniscas del Bundsanstein, las medias corresponden sólo a los experimentos sobre suelos húmedos, ya que con los suelos secos no se produce escorrentía con experimentos estándar (55 mm h^{-1}).

a) Suelos húmedos

Para las mismas zonas y grupos de suelos, pero durante estaciones húmedas (primavera, otoño e invierno), los valores medios de α aumentan ligeramente respecto la media de todos los experimentos, mientras que para los experimentos realizados sobre suelos secos, como veremos posteriormente, la pendiente de la curva de escorrentía es inferior.

En el caso de los suelos húmedos, los valores de α los podemos clasificar en tres grupos. El de valores bajos, está compuesto exclusivamente por los suelos procedentes de zonas en arcillas del Keuper, Anna ($0,17 \text{ min}^{-1}$) y Torís ($0,22 \text{ min}^{-1}$), a los que se

suman en este caso los suelos de Bolbens ($0,24 \text{ min}^{-1}$), incendiados y por ello con un comportamiento sólo explicable por su exposición exclusivamente norte.

Otro grupo de suelos está formado por altos valores de α , todos ellos superiores a la media ($0,32 \text{ min}^{-1}$): Genovés ($0,39 \text{ min}^{-1}$), Petrer ($0,41 \text{ min}^{-1}$) y Monnegre ($0,33 \text{ min}^{-1}$). Las diferencias entre estas dos zonas son debidas a la inexistencia de campos de cultivo y pediments en Monnegre.

Otros suelos que podemos encontrar con valores de α superiores a la media son los de Pedralba ($0,45 \text{ min}^{-1}$), afectados por el incendio recientemente, y Puçol ($0,39 \text{ min}^{-1}$), afectado por un alto grado de humedad (diciembre de 1990), si bien el reducido número de experimentos en ambos casos y la reducida escorrentía en el segundo nos hacen dudar de la validez absoluta de los resultados.

	MEDIA mm h ⁻¹
ANNA	0,17
GENOVÉS	0,39
PETRER	0,41
PEDRALBA	0,45
BOLBENS	0,24
PUÇOL	0,27
TORÍS	0,22
MONNEGRE	0,33
REQUENA	0,08
V. de GALLINERA	0,25
MEDIA	0,32
<i>BADLAND</i>	0,31
INCENDIO	0,27
KEUPER	0,17
KEU-BAD	0,24
MAR-BAD	0,34

Tabla 6.13. Valor medio y del parámetro α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo, min^{-1}) para todos los experimentos por zonas de estudio, grupos de suelos específicos. INCENDIO: suelos incendiados, KEUPER: arcillas del Keuper y *BADLAND*: superficies desnudas sobre margas del Senoniense (MAR-BAD) o arcillas del Keuper (KEU-BAD). Los datos proceden del ajuste de la ecuación de Horton a datos de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos húmedos (mediciones realizadas en primavera, otoño e invierno)

Del estudio realizado por grupos en suelos húmedos, se distingue una clara gradación entre las bajas pendientes de las curvas de los suelos sobre Keuper ($0,17 \text{ min}^{-1}$), y las altas de los suelos sobre margas ($0,33$ y $0,41 \text{ min}^{-1}$), lo que se corrobora

con los valores mucho más elevado cuando el análisis se hace sobre litologías degradadas de ambas litologías (*badlands*), en las que sobre suelos de margas del Senoniense se alcanza un valor medio de α de $0,34 \text{ min}^{-1}$, mientras que sobre litologías del Keuper el valor de α es de $0,24 \text{ min}^{-1}$.

Si los suelos sobre arcillas del Keuper, como hemos visto, presentan valores muy bajos de α , los suelos incendiados tienen un diferente comportamiento en Bolbens respecto a Pedralba, por que en la primera zona el estudio se inició casi una año después del incendio y exclusivamente sobre una ladera de exposición norte, donde los suelos tienen mayores aptitudes para absorber agua, y por lo tanto para regenerarse.

	MEDIA mm h ⁻¹
ANNA	0,18
GENOVÉS	0,24
PETRER	0,26
PEDRALBA	0,37
BOLBENS	0,28
PUÇOL	ne
TORÍS	0,20
MONNEGRE	0,27
MEDIA	0,23
<i>BADLAND</i>	0,23
INCENDIO	0,30
KEUPER	0,18
KE-BAD	0,17
MA-BAD	0,28

Tabla 6.14. Valor medio y del parámetro α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo, min^{-1}) para todos los experimentos por zonas de estudio, grupos de suelos específicos. INCENDIO: suelos incendiados, KEUPER: arcillas del Keuper y *BADLAND*: superficies desnudas sobre margas del Senoniense (MAR-BAD) o arcillas del Keuper (KEU-BAD). Los datos proceden del ajuste de la ecuación de Horton a datos de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1}) sobre suelos secos (pruebas realizadas en verano). ne, sin escorrentía

b) Suelos secos

En el caso de los suelos secos (experimentos realizados en verano) las diferencias se repiten entre cada zona estudiada, aunque hay algunas matizaciones (tabla 6.14). Según los valores medios de α por zonas de estudio podemos encontrar dos grupos muy claros:

- Con los valores superiores a la media ($0,23 \text{ min}^{-1}$), estarían los suelos incendiados de Pedralba ($0,36 \text{ min}^{-1}$), los suelos de las dos zonas de margas, Petrer ($0,26 \text{ min}^{-1}$) y Monnegre ($0,27 \text{ min}^{-1}$) y los suelos sobre calizas, tanto los incendiados de Bolbens ($0,28 \text{ min}^{-1}$) como los de Genovés ($0,24 \text{ min}^{-1}$) o los suelos aterrazados de la Vall de Gallinera ($0,25 \text{ min}^{-1}$).
- Por debajo del valor medio ($0,23 \text{ min}^{-1}$) estarían los suelos de las zonas en arcillas del Keuper, Torís ($0,20 \text{ min}^{-1}$), Anna ($0,18 \text{ min}^{-1}$) o bien Requena ($0,08 \text{ min}^{-1}$).

Este comportamiento de las diferentes zonas es fruto de los tipos de suelos que en ellas encontramos, ya que los suelos sobre Keuper tienen un valor medio de α para la estación seca de $0,18 \text{ min}^{-1}$, mientras que en los *badlands* es de $0,23 \text{ min}^{-1}$ y los suelos incendiados $0,30 \text{ min}^{-1}$. En los *badlands* sobre arcillas del Keuper, el decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo es mucho menor ($0,17 \text{ min}^{-1}$) que este mismo tipo de suelos pero sobre margas del Senoniense ($0,28 \text{ min}^{-1}$).

6.2.2.2. Variaciones entre los periodos secos y húmedos de α

Las diferencias entre el comportamiento de los suelos durante los periodos húmedos y secos es bastante claro, como se observa en la tabla 6.15, y como se ha visto en los apartados precedentes. Los suelos tiene en verano, respecto al resto de estaciones del año, respuestas hidrológicas caracterizadas por curvas de infiltración con pendientes más reducidas, es decir, con cambios temporales de la tasa de infiltración menores.

a) magnitud del decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo (α)

En valores medios para todas las zonas estudiadas, la reducción de los valores de α de las estaciones húmedas (primavera, verano, e invierno) al verano, cuando los suelos están en su estado de máxima sequedad, es de un 22 %, pero esta no es la magnitud ni la tendencia con la que se identifican todas las zonas de estudio y clases de suelos.

En el caso de los suelos sobre arcillas del Keuper, sul valor medio indica un ligero crecimiento de α para los experimentos en suelos secos (7 %), aunque esta respuesta es fruto esencialmente de los suelos de Anna, donde se encuentran superficies con hojarasca de pino (replantación) y niveles medios de materia orgánica en el horizonte superior, que facilita la formación de curvas con elevados valores de α , incluso curvas hidrófobas. En el caso de la zona de Torís a pesar de haber suelos muy vegetados (no

producen escorrentía en verano) y suelos sobre terrazas de cultivo (mayores pendientes de las curvas de escorrentía por cuestiones previamente explicadas) la tendencia de las pendientes de las curvas de escorrentía son a aumentar en verano (un 8 %).

Un comportamiento semejante se produce en el caso de los suelos incendiados donde el aumento del valor de α (10 %) se debe a la existencia de mayor hidrofobia en verano.

En los suelos sobre margas del Senoniense el decrecimiento de los valores de α con la reducción de la humedad (verano) es importante: 40 % en Petrer y 19 % en Monnegre. n Genovés, calizas del Campaniense, con suelos caracterizado por cubiertas vegetales importantes la reducción del valor de α es del 40 %.

	IVM	ICCV
ANNA	1,07	1,04
GENOVÉS	0,60	1,41
PETRER	0,65	1,13
PEDRALBA	0,83	1,21
BOLBENS	1,15	0,87
PUÇOL		
TORÍS	0,92	0,77
MONNEGRE	0,81	1,23
MEDIA	0,82	1,10
<i>BADLAND</i>	0,72	1,57
INCENDIO	1,10	0,91
KEUPER	1,07	1,18
KE-BAD	0,72	2,54
MA-BAD	0,83	1,23

Tabla 6.15. Índices de variación entre la media (IVM) del parámetro α (decaimiento de la tasa de infiltración con el tiempo, min^{-1}) de los suelos secos respecto a los húmedos (ver tablas 6.13 y 6.13. Los resultados se presentan por zonas de estudio, grupos de suelos específicos. INCENDIO: suelos incendiados, KEUPER: arcillas del Keuper y *BADLAND*: superficies desnudas sobre margas del Senoniense (MAR-BAD) o arcillas del Keuper (KEU-BAD). Los datos proceden del ajuste de la ecuación de Horton a datos de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h⁻¹) sobre suelos con diferentes niveles de humedad

Por grupos de suelos nos encontramos con una clara tendencia para suelos sobre arcillas del Keuper y los suelos incendiados aumenta el valor de α en verano, mientras que para los suelos sobre calizas, areniscas y margas desciende. En los *badlands*, tendencia es al decrecimiento (28 %), pero esta tendencia es mayor en los *badlands* sobre Keuper (28 %), que en los *badlands* sobre margas (17 %).

b) Influencia de la humedad sobre la variabilidad espacial de α : estacionalidad

Como antes hemos visto, hay una clara tendencia al aumento de la **variabilidad espacial** de α cuando los suelos están más secos, habiendo cuantificado esta tendencia en términos medios en un 10 % del valor del coeficiente de variación. Sólo dos zonas tienen un comportamiento contrario: Torís y Bolbens. En el primer caso, esto se debe a que el tipo de suelos húmedos y secos seleccionados son diferentes, mientras que en el segundo es la hidrofobia propia de los suelos incendiados la que lo explicaría. Este comportamiento de la variabilidad espacial del parámetro α en verano no se produce en Pedralba por las razones explicadas anteriormente.

La revisión de los distintos crecimientos de los coeficientes de variación (tabla 6.15) en los suelos secos respecto de los húmedos: 41 % en Genovés, 23 % en Monnegre, 13 % en Petrer, 4 % en Anna, 12 % en Puçol y 21 % en Pedralba, nos confirma el aumento de la variabilidad espacial que introduce la menor humedad estival sobre la forma del hidrograma, lo cual no afecta a toda la hidrología de los suelos, ya que la variabilidad espacial de la tasa de infiltración final estable decrece en los periodos secos (apartado 6.5)

Durante los periodos secos, el agrietamiento de las superficies favorecen curvas de escorrentía menos empinadas, pero también el aumento de la variabilidad espacial, como sucede en superficies como los *badlands* sobre arcillas del Keuper, con un 154 % de crecimiento del coeficiente de variación en verano respecto a las estaciones húmedas. Esta fuerte variabilidad espacial de los *badlands* sobre arcillas del Keuper cuando los suelos están muy secos se produce como consecuencia de la importancia de la grietas, que determinan la forma de las curvas de escorrentía. El conjunto de los suelos clasificados como *badlands* tienen un aumento del 57 % del coeficiente de variación de las estaciones húmedas a la seca, mientras que para el caso de los *badlands* sobre margas del Senoniense este aumento de la variabilidad espacial sólo es del 23 %.

El análisis por zonas de estudio de la relación entre los valores medios de α y coeficientes de variación nos muestra un aumento de la variabilidad de los cambios temporales cuanto menor es la pendiente media de éstos (ver figura 6.29). Estos resultados son fruto del método de medición, la lluvia simulada, ya que con infiltrómetro de cilindro la relación sería inversa (ver paginas 284-285).

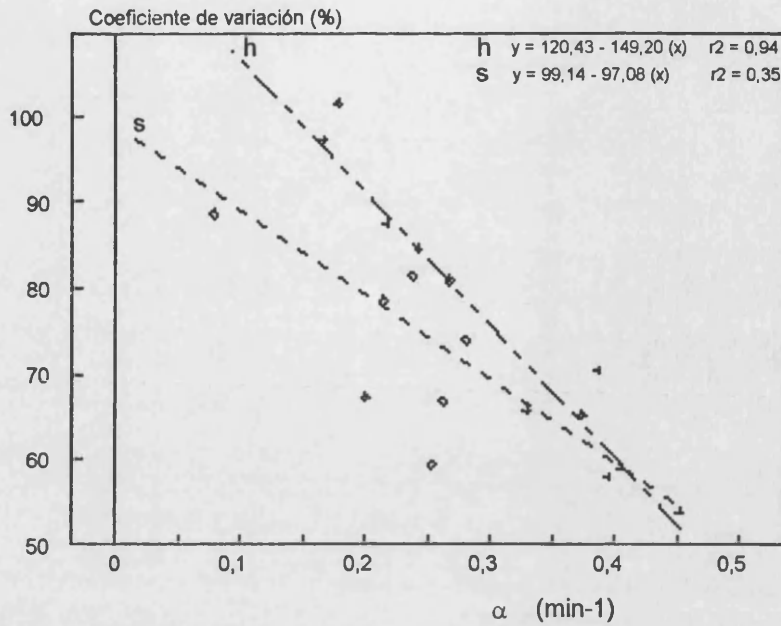


Figura 6.29. Relación entre el valor medio de α según las distintas zonas de estudio y el coeficiente de variación para suelos secos (s) húmedos (h). Los datos proceden de experimentos con lluvia simulada estándar (55 mm h^{-1})

* * *

La construcción de una red de parcelas (67) sobre los suelos más representativos del País Valenciano y sobre cuatro litologías distintas, así como la realización de un media de cinco experimento distribuidos a lo largo del año 1990 en cada una de ellas, nos ha permitido conocer el comportamiento de la infiltración a nivel **estacional**.

En cuanto a la tasa de **infiltración final estable**, se ha observado que durante los meses estivales, especialmente julio y agosto, las tasas de infiltración son mayores al resto de estaciones. De entre las tres restantes, primavera, invierno y otoño es esta última la que presenta una menor capacidad de absorción de agua, estando relacionado claramente con el mayor contenido de agua de los suelos tras la lluvias de octubre de 1990.

Tan sólo en los suelos con bajas cubiertas vegetales, especialmente los *badlands* sobre margas del Senoniense, se ha detectado la existencia de periodos no veraniegos en los cuales las tasas de infiltración son tan altas como en éstos, debido a que la degradación de estos suelos hace que pierdan rápidamente la humedad y se reproduzcan las morfologías típicas de los periodos extremadamente secos.

Las variaciones de la tasa de infiltración final son mayores en los suelos degradados o con menores capacidades de absorción de agua, ya que los suelos, degradados normalmente o tienen muy altas tasas de infiltración en los periodos

húmedos ($> 45 \text{ mm h}^{-1}$) o incluso se comportan como en verano, absorbiendo toda la precipitación.

Pero la infiltración de los suelos no sólo varía estacionalmente con el volumen de agua infiltrado, sino que los cambios en la humedad edáfica hacen que las curvas de infiltración sean, en términos medios, más empinadas durante los periodos húmedos, lo que, junto a patrones de producción de escorrentía adelantados respecto a los estivales, nos muestra hidrogramas con mayores volúmenes de agua infiltrada.

Este comportamiento de la infiltración es un claro influjo de la estacionalidad climática del clima mediterráneo, el cual con las altas tasas de evaporación estivales favorece tasas de infiltración superiores a las del resto de estaciones. Sólo puntualmente se han detectado suelos hidrófobos, los cuales se han mostrado con volúmenes de infiltración menores y curvas de infiltración con pendientes mayores.

Las diferencias estacionales de las tasas de infiltración final estable han sido medidos en distintos climas. SIMANTON y RENARD (1982) y KWAAD (1991) atribuyen la estacionalidad de la infiltración a la humedad del suelo, como se confirma en nuestra investigación. Pero también pueden haber distintos factores edáficos que encuentren un aumento de la infiltración en verano, debido a la existencia de una mayor actividad biológica y a las mayores temperaturas, etc., habiendo sido comprobado en otros estudios (SCHUMM, 1963; 1964; BEUTNER *et al.*, 1940; JOHNSTON, 1980; SIMANTON y RENARD, 1982).

Un ejemplo de la influencia del clima que confirma nuestros resultados es que según RICHTER y KERTESZ, (1990), en la región del Mosela (clima marítimo de costa occidental) tanto la escorrentía como la erosión son mayores en verano, mientras que en el norte de Hungría (clima continental con influencia mediterránea) es la lluvia otoñal y el deshielo primaveral los que dominan el proceso.

Si la variabilidad espacial de α aumenta en verano, se debe a que hay una relación negativa con su valor absoluto, al contrario de lo que ocurre cuando el decaimiento de la tasa de infiltración es medido con infiltrómetro de cilindro. En concreto, el que la infiltración se produjera de forma distinta en cada uno de los métodos, lluvia simulada e infiltrómetro de cilindro, y el que en uno se mida escorrentía y en otro infiltración, hace que las relaciones de la variación espacial sean inversas.

7. CONCLUSIONES

La realización y análisis de 720 experimentos realizados mediante lluvia simulada y 410 mediciones con infiltrómetro de cilindro, en distintos ambientes geomorfológicos y litológicos-edáficos durante distintas épocas del año, nos ha permitido desvelar algunas de las principales características del comportamiento de la infiltración.

Muchas de las cuestiones expuestas por trabajos previos, se han confirmado en nuestro estudio en lo relativo a la validez de los **métodos** de obtención de datos en el campo, tanto para el **infiltrómetro de cilindro** como para la **simulación de lluvia**. Aunque, con cada uno de ellos la infiltración se mida bajo conceptos diferentes, los resultados permiten conocer aspectos importantes del proceso.

El infiltrómetro de cilindro mide la infiltración en condiciones próximas a la saturación del suelo, siendo por tanto muy sensible al flujo de agua a través de los macroporos, durante todo el tiempo de medida. Ésto, unido a la presión de la columna de agua y a la inevitable alteración de la superficie del suelo, revierte en tasas más altas que las que se obtendrían en condiciones reales.

Con la simulación de lluvia, la infiltración vía matriz del suelo domina siempre al principio del experimento y solo cuando el suelo se satura se inicia el flujo en los macroporos. El resultado es que las curvas de infiltración son distintas tanto en su valor estable como en su forma.

Con nuestros datos, la tasa de infiltración final estable medida con *infiltrómetro de cilindro* es 8,1 veces superior a la medida con lluvia simulada a 55 mm h^{-1} de intensidad, para el conjunto de la muestra. Esta razón, no obstante, es diferente para cada tipo de suelo, y para cada caso particular (ver figura 7.1). En las laderas con suelos de textura fina, la diferencia entre los dos métodos es menor: Anna, 6,09; Torís, 4,34; Petrer, 5,6 y Monnegre 6,48 veces, mientras que en las laderas con suelos más arenosos las diferencias son mucho mayores: Bolbens, 11,01, Genovés, 9,78 y Puçol 17,42 veces superior el valor de f_c al ser medido con infiltrómetro de cilindro.

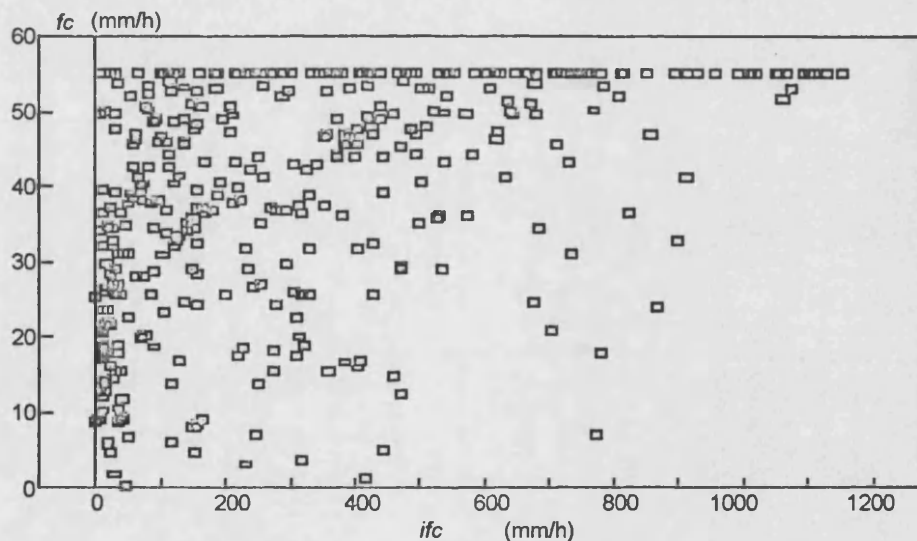


Figura 7.1. Relación entre ifc (tasa de infiltración final constante) medida a partir de infiltrómetro de cilindro, y f_c , medida a partir de lluvia simulada a 55 mm h^{-1}

Esta diferencia entre métodos se minimiza en los lugares de muy baja pendiente, que en nuestro estudio corresponden a campos de cultivo, abandonados o no. Allí, según zonas, las ratios oscilan entre 2,1 y 5. Al menor efecto que sobre el infiltrómetro tiene la inclinación de la superficie, hay que añadir el hecho de que son suelos agrícolas y por tanto con estructura más pobre y menor macroporosidad.

Por tanto se concluye que, desde el punto de vista de f_c , las medidas con infiltrómetro son en terminos medios mayores que las realizadas con lluvia, ahora bien, la dispersión de los datos (figura 7.1) muestra como en algunos casos la

tendencia puede ser inversa, casi siempre en suelos con contenido en arcillas expandibles altos, como los de los *badlands* de Petrer.

En el capítulo 5 se ha analizado cual es el papel de cada una de las variables tradicionalmente consideradas como **factores de la infiltración**.

Sin duda, el primer factor a tener en cuenta es la **intensidad de la lluvia**, la cual mantiene una relación positiva con la infiltrabilidad de los suelos, aumentando normalmente la tasa de infiltración cuando se produce un aumento de la intensidad. Tan solo se han encontrado algunos suelos en situaciones muy concretas, encostrados y muy húmedos, en los que un aumento de la intensidad de la precipitación ha supuesto una reducción de la infiltración, lo cual espacialmente se circunscribe a suelos degradados sobre margas (*badlands*) y suelos incendiados durante el otoño siguiente al incendio.

Pero la precipitación no solo influye sobre la hidrología de los suelos por medio de la intensidad de ésta, sino también por el volumen de agua almacenado previamente en el suelo: la **humedad**. Esto se comprobó con experimentos repetidos en días consecutivos. En ellos se ve como la humedad además de reducir la tasa de infiltración final estable produce un aumento en la pendiente de la curva de escorrentía.

Al contrario que experimentos controlados como los anteriores, cuando se busca la influencia de la humedad a partir de un muestreo sobre una cuenca de drenaje, se descubre que los suelos con mayores tasas de humedad son los de mayor infiltrabilidad. Esto es consecuencia de que sean los suelos más estables los que además de tener mayores tasas de infiltración sean capaces tanto de almacenar mayor cantidad de agua durante las estaciones húmedas como de proteger a esta durante las secas. Tanto por la cubierta vegetal como por la hojarasca y la materia orgánica, las cuales favorecen temperaturas más bajas y menores tasas de evaporación.

La **cubierta vegetal** tiene una clara relación positiva con la infiltración, aunque esta presente una elevada dispersión. Las plantas superiores, la hojarasca o los musgos favorecen la infiltrabilidad de los suelos, mientras que los líquenes tienen un comportamiento poco definido, en parte porque en muchas ocasiones aparecen junto con plantas superiores. Este efecto multiplicativo se confirma al comprobar que con el uso de índices más sofisticados, como la biomasa, la densidad o la simple adición de plantas, musgos y hojarasca, la relación es mucho más clara.



La **materia orgánica** claramente relacionada con la cubierta vegetal también presenta una relación positiva con la infiltración final estable.

La **textura** presenta una difícil correlación con la infiltración debido a la gran dispersión de los datos. No obstante el contenido en arena se vislumbra como positivo, mientras que el limo y la arcilla parecen negativos, no sin excepciones como la de los suelos sobre arcillas del Keuper en los que el contenido elevado en arcilla esta unido a una mejor agregación.

La relación del **carbonato cálcico**, sin ser directa, nos a permitido comprobar que los suelos con bajos contenido de CaCO_3 suelen tener infiltraciones elevadas, mientras que en los caracterizados por elevados contenidos de carbonatos (margas del Senoniense) su hidrología es muy variable, existiendo suelos con muy bajas tasas de infiltración (10 mm h^{-1}) y con tasas superiores a la intensidades de la lluvia.

La **estabilidad de los agregados** presenta una muy clara relación con la infiltrabilidad de los suelos, tal vez por que se ha tratado en valores medios. Así las laderas norte, las de mayores tasas de infiltración, tienen agregados más estables que las laderas sur, los suelos cubiertos con matorral presentan una mayor estabilidad de agregados que los suelos entre-matas o zonas pasillo, los cuales respectivamente tienen menores y mayores tasas de infiltración. En general los suelos sobre margas senonienses son los más inestables, mientras que los situados sobre arcillas del Keuper son los más estables, estando en una situación intermedia los suelos sobre calizas, de entre los cuales los incendiados presenta una ligera menor estabilidad.

La **densidad del suelo** tiene una clara relación negativa con la infiltrabilidad de los suelos, ya que a mayor espacio ocupado por materia solida el volumen poroso es menor y por tanto la capacidad de almacenamiento y transmisión del agua es menor. Esto explica la relación positiva de la porosidad, la cual al igual que la densidad presentan una elevada dispersión de la población estudiada en relación con la tasa de infiltración final.

La **profundidad del suelo** tienen una relación positiva con la infiltración lo que es lógico si tenemos en cuenta que de la potencia del suelo depende en valores absolutos el volumen de espacio poroso, si bien las excepciones surgidas en los suelos muy profundos nos confirma a su vez la importancia del encostramiento superficial.

La **pedregosidad** presenta una relación muy compleja, tanto por la gran variabilidad espacial como por su influencia contrastada sobre la infiltración. Como hemos demostrado inductivamente la pedregosidad superficial favorece la infiltración,

mientras que la pedregosidad incrustada la reduce. Ahora bien en el análisis de toda la población de experimentos no aparece ninguna relación clara.

En cuanto a los dos factores topográficos estudiados, **pendiente y exposición**, la segunda está claramente relacionada con la infiltrabilidad de los suelos, ya que como se vió en el capítulo 4 la infiltración es mayor en las laderas norte, si bien esto no es un comportamiento universal para todos los ecosistemas por la existencia de acarcavamientos también en laderas de umbría o por la presencia de cubiertas vegetales muy importantes en algunas laderas sur, que hacen que la relaciones no sean claras. Respecto a la pendiente no se ha encontrado ninguna relación.

Aunque existen otro factores que pueden determinar la capacidad de infiltración de los suelos, aquí hemos investigado la influencia de aquellos que entendemos son más importantes en los paisajes mediterráneos, y por tanto de uso general en cualquier investigación hidrogeomorfológica. De entre éstos, la vegetación y la cobertura en general, son los más eficaces entre los "externos" al suelo, y la calidad de la agregación junto a la materia orgánica entre los internos.

En cualquier caso, la dispersión de los datos muestra la complejidad de las relaciones de interdependencia entre factores y procesos.

Nuestros resultados permiten el establecimiento de grupos de suelos con un **comportamiento hidrológico** diferenciado. Entre ellos, cabe destacar algunos suelos que por su representatividad espacial en la geografía del País Valenciano pueden ser de gran utilidad en la clasificación o mapeo de unidades hidrológicas homogéneas.

Los suelos sobre areniscas del **Bundsanstein**, estudiados en la zona de **Puçol**, presentan tasas de infiltración altísimas en verano, como lo demuestran los 958 mm h^{-1} medios medidos con el infiltrómetro de cilindro y el que la infiltración sea igual o mayor a la precipitación de 55 mm h^{-1} . En los experimentos de lluvia realizados en periodos húmedos la infiltración se reduce a 46 mm h^{-1} de *fc*, aunque siguieron existiendo suelos que no produjeron escorrentía.

Los suelos sobre arcillas del **Keuper** se caracterizan en general por su elevada capacidad de infiltración, ya que para coberteras vegetales semejantes a otros suelos los valores de *fc* son mayores. Así, en **Anna**, las superficies degradadas de las partes bajas de las laderas presentan valores medios de *fc* de $35,5 \text{ mm h}^{-1}$ tanto para la ladera sur como la norte, mientras que los suelos estables de la ladera norte y sur presentan un comportamiento muy diferente, siendo el valor de *fc* de $54,8$ y $47,5 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente. El estudio realizado durante periodos húmedos, diferenciando

partes bajas y altas, dió como resultado la reducción del valor de f_c hasta $30,5 \text{ mm h}^{-1}$ para las partes bajas de las laderas, y $44,8 \text{ mm h}^{-1}$ para la partes altas.

La experimentación en otras zonas nos confirmó la alta infiltrabilidad de los suelos sobre arcillas del Keuper, incluso con bajos niveles de cobertura vegetal. En *Torís*, se pasa de tasas de infiltración medias en periodos secos para suelos degradados ($31,5 \text{ mm h}^{-1}$), y muy altas para los suelos vegetados ($51,1 \text{ mm h}^{-1}$), a tasas de infiltración bastante bajas en los periodos húmedos: $13,7$ y 30 mm h^{-1} respectivamente. En *Monnegre*, cuando la cubierta vegetal es superior al 30 % (arbustos) los valores de f_c medios son de $51,8 \text{ mm h}^{-1}$, mientras que en la zona degradada este valor se reduce a $36,5 \text{ mm h}^{-1}$. En el caso de los *badlands* de *Requena* el valor medio de f_c es de $29,5 \text{ mm h}^{-1}$, lo que son altas tasas de infiltración si se compara con superficies similares, pero sobre distinta litología, como las margas senoniense de Petrer y Monnegre.

La cuenca estudiada sobre calizas, en Genovés, presenta un comportamiento semejante al visto anteriormente en Anna, aunque la diferente dinámica geomorfológica de la cuenca afecta claramente a las tasas y a la variabilidad espacial de la infiltración.

Así nos encontramos con que en la ladera sur, el efecto repetitivo de incendios y el menor grado de recuperación vegetal, hace que cuando los suelos están muy secos las tasas de infiltración sean sólo de 5 mm h^{-1} menos en la ladera sur (43 mm h^{-1}) que en la ladera norte (48 mm h^{-1}). En cambio, cuando los suelos están húmedos se produce una importante reducción de la infiltración respecto a la situación de suelos secos en verano, siendo el valor de f_c casi de la mitad, $22,8 \text{ mm h}^{-1}$, debido a que sus suelos realmente son menos estables que los de la ladera norte, en la que la infiltración media tan solo se reduce hasta $46,2 \text{ mm h}^{-1}$.

La mayor erodibilidad de los suelos sobre litologías blandas y en concreto sobre margas senomiense, hace que su diversidad sea mayor y que se hayan elegido un total de seis unidades de suelos.

Los suelos muy vegetados (> 80 %), situadas normalmente en las laderas norte o zonas cóncavas (acumulación de humedad) presentan como en las anteriores litologías altas tasas de infiltración en suelos secos ($46,6 \text{ mm h}^{-1}$), si bien esta tasa se reduce drásticamente cuando los suelos están húmedos ($30,3 \text{ mm h}^{-1}$). Las superficies con cubiertas intermedias de vegetación (40-70 %) tienen tasas de infiltración ligeramente inferiores, $38,5 \text{ mm h}^{-1}$ y $24,3 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente para suelos secos y húmedos. Los suelos sobre los derrubios arenosos de las laderas sur de Petrer (20 % de cubierta vegetal) tienen un comportamiento similar, pasando de

32,8 a 22,8 mm h⁻¹, a pesar de que en algunos puntos la costra superficial puede dar lugar a respuestas hidrofóbicas.

Lo realmente excepcional en la respuesta hidrológica de los suelos sobre margas del Senoniense es su menor infiltrabilidad media respecto a otros tipos de suelos con coberteras semejantes. Esta característica es más evidente es en los suelos muy degradados, así en las laderas de *badlands* sobre margas con los suelos secos la infiltrabilidad media (*f_c*) es de 14,6 mm h⁻¹, en los pediments de 13,8 mm h⁻¹, y en los enlosados de 26,04 mm h⁻¹. La modificación impuesta por la humedad también se deja sentir en estos suelos, siendo los valores de *f_c* medios para los periodos húmedos de 8,8, 7,3 y 13,9 mm h⁻¹ respectivamente.

El comportamiento erosivo ante la lluvia simulada confirmar las nulas tasas de erosión de los suelos de Puçol sobre areniscas del Bundsanstein ante experimentos de intensidad standard (55 mm h⁻¹), las muy bajas de las laderas norte, siempre con elevadas cubiertas vegetales, sobre distintas litologías: 6,23 g m⁻² h⁻¹ sobre margas del Senoniense en Monnegre y Petrer, 1,31 y 0,28 g m⁻² h⁻¹ en Torís y Anna, respectivamente, sobre arcillas del Keuper y 1,5 g m⁻² h⁻¹ sobre calizas del Campaniense en Genovés.

En cambio, las laderas sur presentan nulas tasas de erosión en los suelos sobre areniscas (no producen escorrentía), reducidas sobre calizas del Campaniense (9,3 g m⁻² h⁻¹), medias en las arcillas del Keuper debido a los acarcamientos (43, 5 g m⁻² h⁻¹) y muy altas sobre las margas del Senoniense (1574 g m⁻² h⁻¹) fruto de la reducida infiltrabilidad y elevada erodibilidad esta litología.

Además de esta diferenciación espacial basada en la exposición nos encontramos con unidades de suelos específicos con tasas de erosión muy dispares: Pediments de *badlands* (89,21 g m⁻² h⁻¹), suelos pedregosos o enlosados sobre margas del Senoniense (48,47 g m⁻² h⁻¹), *badlands* sobre arcillas del Keuper (136,71, 267,37 y 307,3 g m⁻² h⁻¹, en Torís, Monnegre y Requena, respectivamente), etc.

Este comportamiento de la infiltrabilidad y de la erodibilidad de los suelos nos muestra una clara relación con la cubierta vegetal y con el contenido de agua de los suelos, siendo en el primer caso positiva y en segundo negativa.

En las terrazas de cultivo de la Vall de Gallinera, hemos podido reconstruir un modelo evolutivo de la infiltración tras el abandono. A las altísimas tasas medidas en terrazas sin abandonar, sucede en los primeros años de abandono una ligera

reducción en el primer año de abandono, que posteriormente se recupera. Sólomente una posterior degradación de la vegetación por incendio o pastoreo parece disminuir los valores medios de la infiltración, siendo por tanto la recuperación vegetal la que domina el proceso.

En ningún caso en la Vall de Gallinera, Genovés y Torís, se ha medido suficiente escorrentía para producir el encharcamiento de la terraza en su totalidad o la producción y movilización de escorrentía de una terraza a la inferior. Esto significa que la destrucción de los campos de cultivo o terrazas de cultivo con estas características solo podrá producirse durante eventos con mayores intensidades y volúmenes de precipitación o bien por la acción antrópica. En cambio, en el caso de Petrer, las tasas de infiltración son mucho más bajas ($f_c = 23 \text{ mm h}^{-1}$), debido tanto a la dificultad en la colonización vegetal como al sellamiento de la superficie por los arrastres procedentes de las laderas de *badlands*.

La pérdida de suelo tras el abandono tiene un comportamiento similar al de la escorrentía: reducción progresiva de las tasas de erosión, aunque en los primeros años, debido al encostramiento de la superficie y la falta de vegetación la erosión puntualmente puede ser elevada.

Entre unas zonas y otras la erosión marca una clara gradación, muy ligada al grado de cubierta vegetal en cada tipo de suelo: Genovés ($9,63 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), Torís ($36,01 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y Petrer ($83,66 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Los incendios forestales afectan de modo negativo a la infiltrabilidad de los suelos, aunque con el paso del tiempo, se produce un incremento de las tasas. Este incremento se produce de modo desigual en el espacio, aunque como se verá más adelante los suelos degradados tienen una mayor variabilidad espacial, en los suelos incendiados, el fuego al homogeneizar la cubierta vegetal reduce esta variabilidad, que aumenta con el tiempo a medida que se redistribuye y estructura espacialmente la vegetación.

Inmediatamente después del incendio, la infiltrabilidad es muy alta debido a la elevada sequedad del suelos y a la gran cantidad de cenizas. En cambio, cuatro meses después, cuando las cenizas han sido encostradas y los suelos estaban muy húmedos los valores de f_c se redujeron al mínimo. La evolución posterior responde a una alternancia entre mayores tasas de infiltración con los suelos en seco durante el verano, y menor en los periodos húmedos, pero siempre con una tendencia al crecimiento del valor de f_c en ambos.

El principal efecto del fuego sobre la pérdida de suelo es incrementar las tasas de erosión. Este comportamiento del suelo tras los incendios, incluso más exagerado, ha sido destacado por distintos autores con otras técnicas (GARZA y BLACKBURN, 1985; LINK *et al.*, 1990; SOLER y SALA, 1990). Al igual que ocurre con la escorrentía las pérdidas de suelo se reducen con el tiempo, sólo viéndose alteradas por la acción antrópica.

A las diferencias de comportamiento vistas para los distintos tipos de suelos, hay que añadir la elevada **variabilidad espacial** de la infiltración a escala de cuenca de drenaje y de ladera. Aquí las variaciones espaciales de la infiltración están determinadas por los patrones de distribución vegetal, del que hemos encontrado dos modelos:

El primer modelo, se encuentra sobre litologías blandas, arcillas del Keuper y margas del Senoniense, en las cuales las zonas con cubiertas muy densas y homogéneas tienen altas infiltraciones (cercanas a la intensidad de la lluvia), pero existen dentro de la misma cuenca otros espacios en los que la infiltración es muy baja debido a la degradación sufrida por los suelos, esencialmente debido a la erosión remontante. Es por lo tanto un modelo de distribución espacial muy contrastado e indirectamente dominado por la erosionabilidad del suelo.

Sobre areniscas y calizas, la variabilidad espacial es menos contrastada. La escorrentía se produce sólo en los espacios entre-matas, con tasas de infiltración de tipo medio, mientras que las superficies cubiertas de matorral denso no producen escorrentía. En Puçol, la elevada infiltrabilidad de los suelos hace que solo en los periodos húmedos se cumpla este modelo, ya que en verano todos los suelos absorben toda la precipitación.

Esto dos modelos de distribución espacial de la infiltración de los suelos tienen una clara implicación geomorfológica e hidrológica, ya que en el segundo modelo, nos encontramos con que la escorrentía generada en la zona de entre-matas se infiltrará en las zonas de vegetación más densa y no contribuirá al cauce según el modelo Hortoniano. En cambio en el primer modelo, al estar las zonas degradadas junto al cauce la escorrentía Hortoniana será efectiva, y todo lo que esto supone: erosión y ampliación de la zona degradada.

En general la **variabilidad espacial de la infiltración** es mayor cuando menor es la estabilidad del suelo y su infiltrabilidad. Los valores extremos serían los suelos sobre areniscas de Puçol, con tasas de infiltración de 55 mm h^{-1} y variaciones espaciales inexistentes ($\text{cv} = 0 \%$) para la intensidad utilizada (55 mm h^{-1}), y los

suelos degradados sobre margas, con un valor medio de f_c de 17 mm h^{-1} y un cv del 70 %, siempre valores para suelos secos.

Además, durante los periodos en los que la **humedad del suelo** es mayor los valores de f_c descienden, lo que estará acompañado de un aumento de la variabilidad espacial en todos los tipos de suelos, lo que confirma la relación positiva entre la reducción de la magnitud de f_c y su variabilidad espacial.

Las **variaciones estacionales** son debidas a la influencia de la humedad y tienen un comportamiento muy claro. Las máximas tasas de infiltración se producen cuando los suelos alcanzan la mayor sequedad, en verano, mientras que los valores son inferiores el resto del año, siendo el otoño la estación con menores f_c . Es solamente en los *badlands* donde es posible encontrar situaciones similares a las estivales durante el resto del año, lo cual es debido a la rápida desecación de estos suelos.

Estos resultados confirman la idea de que la infiltración constante es un parámetro que solo existe teóricamente, ya que sus variaciones estacionales son muy importantes (PANNO *et al.*, 1991) y por lo tanto sus valores no son constantes en el tiempo (ROY y GHOSH, 1982).

La estacionalidad se refleja en todos los aspectos del proceso de infiltración, y es notable el cambio en las formas de las curvas. En suelos húmedos, la pendiente de la curva es mayor ($\alpha =$ de $0,32 \text{ min}^{-1}$) que en los suelos secos ($\alpha = 0,23 \text{ min}^{-1}$).

En cuanto a los **modelos de producción de escorrentía** se pueden extraer algunas conclusiones con los resultados de esta investigación. La intensidad de lluvia que se ha utilizado en los experimentos (55 mm h^{-1}) es, como en el capítulo 3 se explicó, lo suficientemente alta como para provocar escorrentías en los cauces del territorio estudiado, lo que nos permite hacer alguna inferencia sobre la hidrología de estos ambientes. Exceptuando los suelos degradados sobre margas del Senoniense y posiblemente algunas partes bajas de las laderas sobre arcillas del Keuper, la escorrentía generada no llegará a los cauces siguiendo el camino Hortoniano, ya que el caudal es tan reducido, cuando existe, que las pérdidas por transmisión harán que desaparezca.

* * *

El comportamiento del proceso de infiltración se distingue por su dinamicidad y complejidad debido a la elevada variabilidad espacial, temporal y estacional fruto de la multitud de factores que sobre actúan. Concretamente, en los suelos estudiados las características más relevantes son:

- **Elevada variabilidad espacial**, tanto en el volumen del agua infiltrada como en el decaimiento temporal de la tasa de infiltración, la cual se produce prácticamente a todas las escalas. Las mismas diferencias que existen entre Petrer y Puçol pueden encontrarse entre las parcelas de Petrer, así como todas las situaciones intermedias existen en el conjunto de zonas estudiadas.

- Se ha comprobado que tanto con mediciones a partir del infiltrómetro de cilindro como con lluvia simulada, la variabilidad espacial de la infiltración es mayor cuando menor es la tasa de infiltración final estable de los suelos. Esto se debe a que con la degradación de los suelos, además de la reducción de sus aptitudes para la absorción de agua, se produce una diversificación del tipo de superficies, esencialmente determinada por la distribución de la cubierta vegetal y los procesos erosivos.

- **Los cambios temporales** (forma de la curva de infiltración) son más rápidos para los suelos degradados, por lo que la pendiente de la curva está relacionada con la tasa de infiltración final estable de forma negativa.

- La magnitud de la **variabilidad estacional** es tal que difícilmente se puede afirmar que un determinado suelo tiene un valor concreto de infiltración. El contenido en humedad del suelo altera notablemente el proceso de infiltración, reduciendo f_c y aumentando α .

- **Los factores** que influyen sobre el proceso de infiltración son muchos, pero entre ellos son la vegetación, materia orgánica y la agregación del suelo los de mayor peso para una determinada intensidad de lluvia y humedad.

- Tanto las mediciones con infiltrómetro de cilindro como con lluvia simulada, se muestran como **métodos válidos y complementarios** para el estudio del proceso de infiltración, si bien en los datos procedentes de simulaciones de lluvia son más realistas en sus magnitudes.

- A partir de los resultados obtenidos con la lluvia simulada (55 mm h⁻¹), se puede afirmar que el modelo Hortoniano de producción de escorrentía sólo se puede aplicar sobre suelos sin cobertura vegetal como los de las áreas de *badlands*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL, A.S. y GILLHAM, R.W. (1984): Laboratory Studies of the Effects of the Capillary Fringe on Streamflow Generation. *Water Resources Research*, 17, 1-23.
- ABDUL, A.S. y GILLHAM, R.W. (1989): Field Studies of the Effects of the Capillary Fringe on Streamflow Generation. *Journal of Hydrology*, 112, 1-18.
- ABRAHAMS, A.D. y PARSONS, A.J. (1991): Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, Southern Arizona. *Journal of Hydrology*, 122, 49-59.
- ABRAHAMS, A.D., PARSONS, A.J. y LUK, S.H.(1988): Hydrologic and sediment response to simulated rainfall on desert hillslopes in southern arizona. *Catena*, 15, 103-117.
- ABRAHAMS, A.D., PARSONS, A.J. y LUK, S.H.(1991): The effect of spatial variability in overland flow on the downslope of soil loss on semiarid hillslope, Southern Arizona. *Catena*, 18, 255-270.
- ADAMS, J.E. (1966): Influence of mulches on runoff, and soil moisture depletion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 101-113.
- ADAMS, J.E., KIRKHAM, D. y NIELSEN, D.R. (1957): A portable rainfall-simulator infiltrometer and physical measurements of soil in place. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21, 473-477.
- AGASSI, A., MORIN, J. y SHAINBERG, I. (1982): Laboratory studies of infiltration and runoff control in semiarid soil in Israel. *Geoderma*, 28, 345-356.
- AGASSI, M. y LEVY, G.J. (1991): Stone Cover and Rain Intensity: Effects on Infiltration, Erosion and Water Splash. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 565-575

- AGASSI, M., SHAINBERG, I. y MORIN, J. (1981): Effect of Electrolyte Concentration and Soil Sodicity on Infiltration Rate and Crust Formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 (5) 848-851.
- AGASSI, M., SHAINBERG, I. y MORIN, J. (1985): Infiltration and runoff in wheat fields in the semi-arid region of Israel. *Geoderma*, 36, 263-267.
- AGASSI, M., SHAINBERG, I. y MORIN, J. (1986): Effect of Powdered Phosphogypsum on the Infiltration Rate of Sodic Soils. *Irrigation Science*, 7, 53-61
- AGASSI, M., SHAINBERG, I., WARRINGTON, D. y BEN-HUR, M. (1989): Runoff and erosion control in potato fields. *Soil Science*, 148 (2), 149-154.
- AHUJA, L.R., BARNES, B.B., CASSEL, D.K., BRUCE, R.R. y NOFZIGER, D.L. (1988): Effect of assumed unit gradient during drainage on the determination of unsaturated hydraulic conductivity and infiltration parameters. *Soil Science*, 145 (4), 235-243.
- ALBADALEJO, J. y DIAZ, E. (1990): Degradación y regeneración del suelo en el litoral mediterráneo Español: experiencias en el proyecto LUCDEME. En ALBADALEJO, J., STOCKING, M.A. y DIAZ, E. (Eds.): *Degradación y recuperación del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 191-213.
- ALEXANDER, D. (1982): Difference between "calachi" and "biancane" badlands in Italy. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 71-88.
- ALEXANDER, R.W. y CALVO, A. (1990): The influence of lichens on slope processes in some Spanish Badlands. En THORNES, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion: Process and Environments*, 385-398.
- ALIM, A.K. (1986): *Experimental Studies on Transient Behavior of Capillary Zone*. Environment Research Center Papers of the University of Tsukuba, Number 9, 76 p.
- ALMENDROS, G., GONZALEZ-VILA, F.J. y MARTIN, F. (1990): Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Science*, 149, 158-168.
- AMBIO (1988): *El agua*. Blume ecología, Barcelona, 174 p.
- AMERMAN, C.R. (1979): Status of infiltration research and measurement in the United States. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 102-128.
- AMERMAN, C.R. (1983): Infiltration measurement. *Advances in Infiltration*, A.S.A.E., 201-214.
- AMERMAN, C.R., HILLEL, D.I. y PETERSON, A.E. (1970): A variable-intensity sprinkling infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34, 830-832.
- ANDERSON, J.U., STEWART, A.E. y GREGORY, P.C. (1968): *A portable rainfall simulator and runoff sampler*. New Mexico State Univ. Ag. Espt. Sta. Rept 143, Las Cruces, 5 p.
- ANDERSON, M.G y BURT, T.P. (1978): The role of topography in controlling throughflow generation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 3, 331-344.
- ANDERSON, M.G y BURT, T.P. (1980): The role of Topography in Controlling Throughflow Generation: A Reply. *Earth Surface Processes*, 5, 193-195.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1977a): A laboratory Model to Investigate the Soil Moisture Conditions on a Drainage Slope. *Journal of Hydrology*, 33, 383-390.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1977b): Automatic monitoring of soil moisture conditions in a hillslope spur and hollow. *Journal of Hydrology*, 33, 27-36.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1985a): *Hydrological Forecasting*. John Wiley and Sons, New York, 604 p.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1985b): Modelling strategies. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Ed.): *Hydrological Forecasting*. 1-13.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1990a): *Process Studies in Hillslope Hydrology*. John Wiley and Son, Chichester, 539 p.
- ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (1990b): Process studies in Hillslope Hydrology: and Overview. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Eds.): *Process Studies in Hillslope Hydrology*, 1-8.
- ANDERSON, M.G. y KNEALE, P.E. (1980): Topography and hillslope soil water relationship in a catchment of low relief. *Journal of Hydrology*, 47, 115-128.

- ANDERSON, M.G. y KNEALE, P.E. (1982): The influence of low-angle topography on hillslope soil-water convergence and stream discharge. *Journal of Hydrology*, 57, 65-80.
- ANDERSON, M.G. y ROGERS, C.C.M. (1987): Catchment scale distributed hydrological models: a discussion of research direction. *Progress in Physical Geography*, 11 (1), 28-51.
- ARNAEZ, J. y PEREZ-CHACON, E. (1986): Aproximación a la tipología y evolución geomorfológica de campos abandonados en Gran Canaria (Islas Canarias). *V Reunión del Grupo de Trabajo de la UGI. Síntesis del Paisaje*, Banyoles, 87-94 p.
- ARNAEZ-VADILLO, J. (1988): Rills, Gullies and Badlands: Reviewing the problem. *Pirineos*, 132, 89-98.
- ASSELINE, J. y VALENTIN, C. (1978): Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, XV (4): 321-349.
- AUERSWALD, K. (1986): A Swanson-Type Rainfall Simulator for Erosion Studies. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesllsch.*, 49, 224-225.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F. IVENS, W.P.M.F., MULDER, H.F.H.M. y VAN DER PLOEG, A.J. (1984a). A functional approach of landscape systems in Ardeche region (Southern France). Part I. water budget. *Z. Geomorph. N.F. Sppl.-Bd.*, 49, 1-12.
- AUGUSTINUS, P.G.E.F., IVENS, W.P.M.F., MULDER, H.F.H.M. y VAN DER PLOEG, A.J. (1984b): A functional approach of landscape systems in Ardeche region (Southern France). Part II. Nutrient cycle. *Z. Geomorph. N.F. Sppl.-Bd.*, 49, 13-25.
- AUTEN, J.T. (1934): *The effect of forest burning and pasturing in the Azarks on the water absorption of forest soils*. USDA., Forest Service, Central States Expt. St. Note 16.
- BALLIF, J.L. (1989-90): Erosion de la vignoble champenois: influence des techniques culturales (France). *Cah. ORSTOM, Ser. Pedol.*, XXV (1-2), 151-156.
- BARNES, C.J. (1989): Solute and water movement in unsaturated soils. *Water Resources Research*, 25 (1) 38-42.
- BARNES, O.F. y COSTEL, G. (1957): A mobile infiltrometer. *Agronomy Journal*, 49, 105-107.
- BASAK, P. (1972): Soil structure and its effects on hydraulic conductivity. *Soil Science*, 114 (6) 417-423.
- BAUMHARDT, R.L., RÖMKEMS, M.J.M., PARLAGE, J.-Y. y WHISLER, F.D. (1991a): Predicting soil-surface seal conductance from incipient ponding and infiltration data. *Journal of Hydrology*, 128, 277-291.
- BAUMHARDT, R.L., RÖMKEMS, M.J.M., WHISLER, F.D. y PARLAGE, J.-Y. (1991b): Modelling infiltration into a sealing soil. *Water Resources Research*, 26 (10) 2497-2505.
- BECHER, H.H. (1990): Comparison of German and Swiss rainfall simulators- Relative drop energies and their distribution in time and space for simulated rains. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.*, 153, 409-414.
- BEN-HUR, M. y LETEY, J. (1989): Effect of Polysaccharides, Clay Dispersion, and Impact energy on Water Infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (1) 233-238.
- BEN-HUR, M. y SHAINBERG, I. (1989): Clay, Calcium Carbonate, and Sodium Polymetaphosphate Interactions in Soil Seal Formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (1) 242-247.
- BEN-HUR, M., SHAINBERG, I. y KEREN, R. (1986): Effect of Sodium Polyphosphate on Soil Crust Formation and Runoff/Rain Relations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 (5) 1314-1318.
- BEN-HUR, M., SHAINBERG, I., KEREN, R. y GAL, M. (1985): Effect of Water Quality and Drying on Soil Crust Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 191-196
- BEN-ZVI, A. y LANGERMAN, M. (1989): Man induced changes in rainfall-runoff relationship for a mountainous watershed. *Pirineos*, 134, 9-24.
- BENITO, G. y GUTIERREZ, M. (1988): Karst in gypsum and its environmental impact on the Middle Ebro Basin, Spain. *Environ. Geol. Water Sci.*, 12 (2) 107-111.
- BENITO, G., GUTIERREZ, M. y SANCHO, C. (1991): Erosion patterns in rill and interill areas in badlands zones of the middle Ebro basin (N.E-Spain). En SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCIA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 41-54.

- BENITO-RUEDA, E., GOMEZ-ULLA, A. y DIAZ-FIERROS VIQUEIRA, F. (1986): Descripción de un Simulador de Lluvia para estudios de erodibilidad del Suelo y Estabilidad de los Agregados al agua. *An. Edafol. Agrobiol.*, XLV (9-10) 1115-1126.
- BENOIT, G.R. (1973): Effect of Freeze-Thaw cycles on Aggregate stability and hydraulic conductivity of three soil aggregate sizes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37, 3-5.
- BERGSMA, E. (1983): Rainfall erosion surveys for conservation planning. *ITC Journal*, 2, 166-174.
- BERNABE, J.M. (1989): Obras hidráulicas tradicionales en el regadío de Petrer. (Vall de Vinalopó). En *Los paisajes del agua*. Universitat de València y Universidad de Alicante, 187-198.
- BERNAD, M. CALVO, A. DIAGO, D. ESTENS, F. RECATALA, T. M. (1988): Algunos aspectos del comportamiento hidrológico de los suelos forestales de la Sierra de Espadán. *Iº Congrés d'Història i Filologia de la Plana*, Nules, 47-58.
- BERNDTSSON, R. (1987): Application of infiltration equations to a catchment with a large spatial variability in infiltration. *Hydrological Sciences*, 32 (3) 399-413.
- BERNDTSSON, R. (1988): *Spatial hydrological processes in a water resources planning perspective. An investigation of rainfall and infiltration in Tunisia*. University of Lund. Report nº 1009, 315 p.
- BERNDTSSON, R. y LARSON, M. (1987): Spatial variability of infiltration in a semiarid environment. *Journal of hydrology*, 90, 117-133.
- BERNDTSSON, R., HOGLAND, W. y LARSON, M. (1985a): Spatial variations of infiltration for a catchment in northern Tunisia. En BERNDTSSON, R., LARSON, M., DAHLBLOM, P., NGUYEN, V.L., HOGLAND, W. y NIEMCZYNOWICZ, J. (Eds.): *Hydrological studies in Tunisia*, 13-26.
- BERNDTSSON, R., LARSON, M., DAHLBLOM, P., NGUYEN, V.L., HOGLAND, W. y NIEMCZYNOWICZ, J. (1985b): *Hydrological studies in Tunisia*. University of Lund, Rapport 3107, 132 p.
- BERNIER, P.Y. (1985): Variable source area and storm-flow generation: an update of concept and a simulation effort. *Journal of hydrology*, 79, 195-213.
- BERTRAND, A.R. y PARR, J.F. (1961): *Design and operation of the Pardue sprinkling infiltrometer*. Pardue Univ. Res. Bull. No. 723.
- BETSON, R.P. (1964): What is watershed runoff?. *J. Geophys. Res.*, 69 (8) 1541-1551.
- BEUTNER, E.L., GAEBE, R.R. y HORTON, R.E. (1940): Sprinkled-plot runoff and infiltration experiments on Arizona desert soils. *Trans. Am. Geophys. Union*, 21, 550-558.
- BEVEN, K. (1981): Kinematic subsurface stormflow. *Water Resources Research*, 17, 1417-1424.
- BEVEN, K. y GERMANN, P. (1982): Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, 18 (5) 1311-1325.
- BINNS, W.O. (1979): The hydrological impact of afforestation in Great Britain. En *Man's impact on the hydrological cycle in the United Kingdom*, 55-70.
- BISAL, F. (1967): Infiltration Rate as Related to Rainfall Energy. *Can. J. Soil Sci.*, 47, 33-42.
- BLACKBURN, W.H. (1979): Assessment of intensive range practices on hydrologic characteristics using a mobile rainfall simulator, Nevada and Texas. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 114-117.
- BLACKBURN, W.H., MEUWING, R.O. y SKAU, C.M. (1974): A mobile infiltrometer for use on rangeland. *Journal of Range Management*, 27 (4) 322-323.
- BLACKBURN, W.H., PIERSON, F.B. y SEYFRIED, M.S. (1990): Spatial and Temporal Influence of Soil Frost on Infiltration and Erosion of Sagebrush Rangelands. *Water Resource Bulletin*, 26 (6) 991-997.
- BLOOMFIELD, P.H.'A., PILGRIM, D.H. y WATSON, K.K. (1981): The infiltration-soil water storage relationship at a point in watershed modeling. *Water Resources Research*, 17 (2) 370-76.
- BODMAN, G.B. y COLMAN, E.A. (1944): Moisture and energy relations during downward entry of water into soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 8, 116-122.

- BOERS, Th. m., MADUAKOR, H.O y TEE, D.P. (1988): Sheet erosion from a bare sandy soil in South Eastern Nigeria. *Proceedings of the International Symposium on Erosion South Eastern Nigeria*, 1 (1) 23-34.
- BOIFFIN, J. y MONNIE, G. (1985): Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. *International symposium on the assessment of soil surface sealing and crusting*, Ghent, Belgium, 210-217.
- BOLIN, S.B. y WARD, T.J. (1987): An Analysis of Runoff and Sediment Yield from Natural Rainfall Plots in the Chihuahuan Desert. *USA-Mexico Symposium on Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for food Production in Arid Zone*, Tucson, Arizona, 196-200.
- BOLTON, S., ASCE, A.M., WARD, T.M. Y WHITFORD, W.G. (1990): Rainfall infiltration and loss on a Bajada in the Chihuahuan desert, New Mexico. *Proceedings of the International Symposium in Hydraulics/Hidrology of Arids Lands*. San Diego, California, July 30-August 2, 349-355.
- BONELL, M. y WILLIAMS, J. (1986): The two parameters of the Philip infiltration equation: their properties and spatial and temporal heterogeneity in a red earth of tropical semi-arid Queensland. *Journal of Hydrology*, 87, 9-31.
- BONELL, M., CASSELLS, D.S. y GILMOUR, D.A. (1987): Spatial Variation in Soil Hydrology Properties under Tropical Rainforest in Northeastern Australia. En Y.-F. FOK (Ed.) *Pre-Conference Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*, 153-165.
- BONELL, M., HENDRIKS, M.R., IMESON, A.C. y HAZELHOFF, L. (1984): The generation of storm runoff in a forested clayey drainage basin in luxembourg. *Journal of Hydrology*, 71, 53-77.
- BOOTH, C.J. y PRICE, B.C. (1989): Infiltration, Soil Moisture, and Related Measurements at a Landfill with a Fractured Cover, Illinois. *Journal of Hydrology*, 108, 175-188.
- BORK, H.-R. (1981): Oberflächenabfluss und infiltration. Ergebnisse von starkregensimulationene in der Süheide (ostniederdachwsen) und in Süost- Spanien. *Deutscher Geographentag*, 43, 159-163.
- BORK, H.-R. y ROHDENBURG, H. (1981): Ergebnisse von Starkregensimulationen in der Sühide Veränderungen des Infiltrations- und Oberflächenabflussverhaltens durch Waldbrände, Windbruch un Rekultivierungsmassnahmen. *Mitteilgn. Dtsch. Bondenkundl. Gesellsch.*, 30, 213-228.
- BOSCH, J.M., WILGEN, B.W. y VAN, BANDS, D.P. (1986). A model for comparing water yield from fynbos catchments burnt at different intervals. *Water SA*, 12 (4) 191-196.
- BOUGHTON, W.C. (1987): Evaluating Partial Areas of Watershed Runoff. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 113 (3) 356-366.
- BOUGHTON, W.C. (1989): A Review of the USDA SCS Curve Number Method. *Aust. J. Soil Res.* 27, 511-523.
- BOUMA, J., BELMANS, C.F.M. y DEKKER, L. W. (1982). Water infiltration and redistribution in a silt loam subsoil with vertical worm channels. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 917-921.
- BOUWER, H. (1978): *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill, New York, 480 p.
- BOUWER, H. (1986): Intake Rate: Cylinder Infiltrometer. En *Methods of Soil Analisis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy monograph nº 9.
- BOUYER-BOWER, T.A.S. y BURT, T.P. (1989): Rainfall Simulators for Investigating Soil Response to Rainfall. *Soil Technology*, 2, 1-16.
- BOUYOCOS, G.J. (1915): Directions of making mechanical analysis of soils by hydrometer method. *Soil Science*, 42, 225-228.
- BOX, J.E. (1981): The Effects of Surface Slaty Fragment on Soil Erosion by Water. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 111-116.
- BRADFORD, J.M. REMLEY, P.A. FERRIS, J.E. y SANTINI, J.B. (1986). Effect of soil surface Sealing on splash from a single waterdrop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50; 1547-1552.
- BRADFORD, J.M., FERRIS, J.E. y REMLEY, P.A. (1987): Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and splash detachment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1566-1571.

- BRAKENSIEK, P.O., RAWLS, W.J. y HAMON, W.R. (en prensa): Application of an infiltrometer system for describing infiltration into soils. *Transactions of the ASAE*.
- BRANDT, C.J. (1989): The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies. *Catena*, 16, 507-524.
- BRANDT, C.J. (1990): Simulation of the size distribution and erosivity of raindrops and throughfall drops. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 687-698.
- BRAS, R.L. (1990): *Hydrology: An Introduction to Hydrology Science*. Addison-Wesley, New York, 643 p.
- BROWN, A.G. (1990): Soil erosion and fire in areas of Mediterranean type vegetation: Results from chaparral in Southern California, USA, and matorral in Andalucía, Southern Spain. En J.B. THORNES (ed.) *Vegetation and erosion: processes and environments*. Wiley, 269-288.
- BROWN, G.W., BURG, R.H., HARR, R.D. y RILEY, J.P. (1972): Hydrologic Modeling in the Coniferous Forest Biome. *Proceedings Research on Coniferous Forest Ecosystems*, 49-70.
- BROWN, J.H.A. (1972): Hydrological Effects of a Bushfire in a Catchment in South-Eastern New South Wales. *Journal of Hydrology*, 15, 77-96.
- BRU RONDA, C. y CUENCA PAYA, A. (1986): Primeras evaluaciones de la capacidad de infiltración en suelos de la comarca del Campo de Alicante. *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España*, 27-30.
- BRUSTKERN, R.L. y MOREL-SEYTOUX, H.J. (1975): Description of water and air movement during infiltration. *Journal of Hydrology*, 24, 21-35.
- BRYAN, R. y YAIR, A. (1982a): *Badland geomorphology and piping*. University Press, Cambridge, 409 p.
- BRYAN, R. y YAIR, A. (1982b): Perspectives on studies of badland geomorphology. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 1-12.
- BRYAN, R.B. (1974): Water Erosion by Splash and Wash and the Erosibility of Albertan Soils. *Geografiska Annaler*, 56 A (3-4) 159-181.
- BRYAN, R.B. (1981): Soil erosion under simulated rainfall in the fields and laboratory: variability of erosion under controlled conditions. *IAHS Publication n° 133*, 391-402.
- BRYAN, R.B., IMESON, A.C. CAMPBELL, I.A. (1984): Solute release and sediment entrainment on microcatchments in the Dinosaur Park Badlands Alberta, Canada. *Journal of Hydrology*, 71, 79-106.
- BRYANT, R.H. (1979): Soils. En *Physical Geography, Made simple*. W. H. Allen, 209-223..
- BUBENZER, G.D. (1979): Rainfall characteristics important for simulation. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 22-27.
- BUBENZER, G.D. y JONES, B.A. (1971): Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall. *Transactions of the ASAE*, 14 (4) 625-628.
- BUBENZER, G.D. y MEYER, L.D. (1965): Simulation of rainfall and soils for laboratory research. *Transactions of the ASAE*, 8, 73-75.
- BUBENZER, G.D., MOLNAU, M. y MCCOOL, D.K. (1979): Paulose rainfall simulator. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 131-133.
- BUCKINGHAM, E. (1907): *Studies on the movement of soil moisture*. Boletín n° 38, U.S.D.A..
- BURCH, G.J., MOORE, I.D. y BURNS, J. (1989): Soil hydrophobic effects on infiltration and catchment runoff. *Hydrological Processes*, 3, 211-22.
- BURGES, S.B. (1986): Trends and directions in Hydrology. *Water Resources Research*, 22, 9, 15-55.
- BURNEY, J.R. y EDWARDS, L.M. (1987): Soil Erosion Under Freeze/Thaw Conditions. *ASAE Paper 87-2601*, 13 pp.
- BURNEY, J.R. y EDWARDS, L.M. (1989): Measurement and Modelling of Cool Season Soil Erosion. In DODD, A. y GRACE, P.C. (Eds.): *Proceedings of the eleventh International Congress on Agricultural Congress on Agricultural Engineering*, 741-747.
- BURT, T.P. (1985): Slope and Slope Processes. *Progress in Physical Geography*, 9, 582-599.

- BURT, T.P. (1986): Runoff processes and solutional denudation rates on humid temperate hillslopes. En TRUDGILL, S.T. (Ed.): *Solute Processes*, 193-205.
- BURT, T.P. (1987): Slope and Slope Processes. *Progress in Physical Geography*, 11, 590-611.
- BURT, T.P. (1989): Storm runoff generation in small catchments in relation to the flood response of large basins. Floods: hydrological, sedimentological and geomorphological implications. En BEVEN, K. y CARLING, P. (Eds.): *Floods: hydrological, sedimentological and geomorphological*, 11-35.
- BURT, T.P. y BUTCHER, D.P. (1984): *A basic hillslope runoff model for use in undergraduate teaching*. Occasional Paper 11, Department of Geography and Geology, The Polytechnic, Huddersfield, 70 p.
- BURT, T.P., HEATHWAITE, A.L. y LABADZ, J.C. (1990): Runoff Production in Peat-covered Catchments. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Ed.): *Process Studies in Hillslope Hydrology*, 463-500.
- BUSSACA, A.J., ANIKU, J.R. SINGER, M.J. (1984): Dispersion of soils by an ultrasonic method that eliminates probe contact. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 1125-1129.
- BUTZER, K.W. (1976): *Geomorphology from the hearth*. Harper and Row, New York, 463 p.
- CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (1989): *El Agua en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Valencia, 592 p.
- CALDER, I.R. (1986): The influence of land use on water yield in upland areas of U.K. *Journal of Hydrology*, 88, 201-211.
- CALVO CASES, A. (1987): *Geomorfología de laderas en la montaña del País Valenciano*, I.V.E.I., Col. Politécnica, Valencia, 301 p.
- CALVO CASES, A. y LA ROCA CERVIGON, N. (1988): Slope form and soil erosion on calcareous slopes. *Catena Supplement*, 12, 103-112.
- CALVO, A. y CERDA, A. (en prensa): Changes in the hydrological and erosional response of soil after a forest fire. *Geofoma*
- CALVO, A., GISBERT, B., PALAU, E. y ROMERO, M. (1988): Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. En M. SALA y F. GALLART (Eds.): *Métodos y técnicas para la medición de procesos geomorfológicos*, S. E. G. Monografía 1, pp. 6-15
- CALVO-CASES, A. HARVEY, A.M. y PAYA-SERRANO, J. (1991). Process interactions and badland development in SE. Spain. En SALA, M., RUBIO, J.L. and GARCIA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 75-96.
- CAMARASA BELMONTE, A.M. (1990): Génesis de avenidas en pequeñas cuencas semiáridas: la Rambla de Poyo (València). *Cuadernos de Geografía*, 48, 81-104.
- CAMARASA BELMONTE, A.M. (1990): *La rambla de Poyo: estudio geomorfológico*. Memoria de licenciatura, Universitat de València, 224 p.
- CAMARASA BELMONTE, A.M. (1991): *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo*. Tesis Doctoral inédita, Universitat de València, II tomos.
- CAMMERAAT, L.H. (1992): *Hydro-geomorphologic processes in a small forested sub-catchment: preferred flow-paths of water*. Tesis Doctoral, Univesiteit van Amsterdam, 146 p.
- CAMMERAAT, L.H. y IMESON, A.C. (1988): The measurement of hydro-geomorphological discontinuities on a uniform forested slope. *Soil Technology*, 1, 365-371.
- CAMPBELL, I.A. (1974): Erosion rates in the Steeville badlands, Alberta. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 21, 122-186.
- CAMPBELL, I.A. (1982): Badland and Badland Gullies. En THOMAS, D.S.G. (Ed.): *Arid Zone geomorphology*, 159-186.
- CAMPBELL, I.A. (1987): Infiltration Characteristics of Badlands Surface and Storm Runoff. En Y.-F. FOK (Ed.) *Pre-Conference Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*, 251-261

- CAMPBELL, S.Y., VAN DER MOLEN, W.H., ROSE, C.W. y PARLAGE, J.Y. (1985): A new method for obtaining a spatially averaged infiltration rate from rainfall and runoff rates. *Journal of Hydrology*, 82, 57-62.
- CARSON, M.A y KIRKBY, M.J. (1972): *Hillslope Form and Processes*. Cambridge University Press, 475 p.
- CARTER, C.E. GREER, J.D. y FLOYD, J.M. (1974): Raindrop Characteristics in South Central United States. *Transactions of the ASAE*, 17 (6) 1033-1037 p.
- CASAL, M., BASANTA, M., GONZALEZ, F., MONTERO, R., PEREIRAS, J. y PUENTES, A. (1990): Postfire dynamics in experimental plots of shrubland ecosystems in Galicia (NW, Spain). En GOLDAMMER, J.G. y JENKINS, M.J. (Eds). *Fire in ecosystems dynamics. Mediterranean and northern perspective*, 33-42. SPB Academic Publishing, The Hague.
- CATALAN, J. (1989): La calidad de las agua residuales y sus efectos sobre el medio ambiente. Caso de la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 451-464.
- CAVALLER, V. y GUADALAJARA N. (1989): El coste del agua elevada en los regadíos valencianos. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 203-230.
- CERDA, A. y CALVO, A. (1991): Influencia del fuego en la escorrentía y la erosión (Serra Grossa. Valencia). *Actas del XII Congreso Nacional de Geografía*, Valencia, 23-27.
- CERVERA, M. (1987): Hidrología de vessants: síntesis del progreso teórico en l'estudi de la dinàmica de l'escoriment superficial. *Notes de Geografia Física*, 15-16, 38-52.
- CHAPMAN, T.G. (1975): Trends in hydrology. En CHAPMAN, T.G. y DUNIN, F.X. (Eds.): *Prediction in Catchment Hydrology*, 459-482.
- CHILDS, E.C. (1967): Soil moisture theory. *Advances in Hydrosci.*, 4. 73-117.
- CHILDS, E.C. (1969): *An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena*. Wiley Interscience, New York, 493 p.
- CHOLVI, F. (1989): La gestión del abastecimiento de agua en el área metropolitana de Valencia. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 261-274.
- CHONG, S.-K. y TENG, T.-M. (1986): Relation between the runoff curve number and hydrologic soil properties. *Journal of Hydrology*, 84, 1-7.
- CHONG, S.K. y GREEN, R.E. (1983): *Sorptivity and its applications*. En *Advances in Infiltration*, A.S.A.E., 82-91.
- CHORLEY, R.J. (1969): *Introduction to Physical Hydrology*. London, 211.
- CHORLEY, R.J. (1971): *Introduction to Fluvial Processes*. Methuen and Co Ltd., New York, 218 p.
- CHORLEY, R.J. y KENNEDY, B.A (1971): *Physical Geography: A Systems Approach*. Prentice Hall, London, 370 p.
- CHOW, V.T. y YEN, B.C. (1974): *A laboratory watershed experimentation system*. Hydr. Engr. Series nº 27, Civil Engineering Dept., Univ. of Illinois, 196 p.
- CHOW, W.T. y HARBAUGH, T.E. (1965): Raindrop production for laboratory watershed experimentation. *J. Geophys. Res.*, 70 (24) 6111-6119.
- CHRISTIANSEN, J.E. (1942): *Irrigation by sprinkling*. Calif. Agr. Expt. Sta. Bull., nº 670.
- CHU, S.-T. (1978): Infiltration During an Unsteady Rain. *Water Resources Research*, 14 (3) 461-466.
- CHU, S.-T. (1985): Modeling Infiltration into tilled Soil during Non-Uniform rainfall. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 28 (4) 1226-1229.
- CHU, S.-T. (1986): Determination of Green-Ampt Parameters Using a Sprinkler Infiltrometer. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 29 (2) 501-504.
- CHU, S.-T. (1987): Generalised Mein-Larson Infiltration Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 113, 2, 155-162.
- CHURCH, M. y WOO, M.-K. (1990): Geography of Surface Runoff: some lessons for research. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Ed.): *Process Studies in Hillslope Hydrology*, 299-326.

- CHURCHILL, R.R. (1981): Aspect-related differences in Badlands slope morphology. *Annals of the Association of American Geographers*, 71 (3) 374-388
- CHURCHILL, R.R. (1982): Aspect-induced differences in hillslopes processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7, 171-182.
- CISLEROVA, M. (1988): Changes of steady-state infiltration rates in recurrent ponding infiltration experiments. *Journal of Hydrology*, 104, 1-16.
- CLIMENT y GINER, D. (1985): *Les nostres plantes*. Instituto Juan Gil-Albert-Diputación Provincial de Alicante, 312 p.
- CLOTET, N., GALLART, F. y SALA, M. (1987): Los badlands: características, interes teórico, dinámica y tasas de erosión. *Notas de Geografía Física*, 15-16.
- CLOTHIER, B.E. y WHITE, I. (1981): Measurement of sorptivity and soil water diffusivity in the field. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 241-245.
- COLLINS-GEORGE, N. y GREENE, R.S.B. (1979): The Effect of Aggregate Size on the Infiltration Behaviour of a Slaking Soil and its Relevance to Poned Irrigation. *Aust. J. Soil Res.*, 17, 65-73.
- COLLINS-GEORGE. y YATES, D.R. (1987): The effects of encapsulated air on falling head permeameters. *Soil Science*, (5) 318-329.
- CONESA GARCIA, C. (1987): *Balance hídrico, hidrología, y geomorfología de los sistemas de drenaje del Campo de Cartagena (Murcia)*. Tesis Doctoral no publicada, Universidad de Murcia, 1312 p.
- CONNOLLY, R.D., SILBURN, D.M. y CIESIOLKA, C.A.A. (1990a): Distributed parameter hydrology model (ANSWERS) applied to spatially complex catchments using rainfall simulator data. *Conference of Agricultural Engineering*, Toowoomba, Queensland, 11-14 November, 275-278
- CONNOLLY, R.D., SILBURN, D.M., CIESIOLKA, C.A.A. y FOLEY, J.L. (1990b): Modelling hydrology of agricultural catchments using parameters derived from rainfall simulator data. *Soil and Tillage Research*, 20, 33-44.
- CONSTANZ, J. y MURPHY, F. (1991): Temperature dependence of ponded infiltration under isothermal conditions. *Journal of Hydrology*, 122, 119-128.
- COOKE, R.V. y DOORNKAMP, J.C. (1974): *Geomorphology in Enviromental Management: An Introduction*. Clarendon Press, Oxford, 413 p.
- COSTIN, A.B. y GILMOUR, D.A. (1970): Portable rainfall simulator and plot unit for use in fields studies of infiltration, runoff, and erosion. *J. Appl. Ecol.*, 7 (1) 193-200.
- CROCKFORD, H., TOPALIDIS, S. y RICHARSON, D.P. (1991): Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest measurements and processes. *Hydrological processes*, 5, 405-420.
- CROUCH, R.J. y COLLISON, J.E. (1989): An Air Injected, Single Nozzle Rainfall Simulator, Dewsinged for Use on Gully Sides. *Australian Journal of Soil and Water Conservation*, 2 (3) 37-39.
- CRUZ OROZCO, J. (1990): *Les comarques de Muntanya*. Edicions Alfons el Magnanim (IVEI), València, 155 p.
- DAVIDOFF, B. y SELIM, H.M. (1986): Godness of Fit for Eight Water Infiltration Models. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 759-764.
- DAVIDSON, M.R. (1984): A Green-Ampt model of infiltration in cracket soil. *Water Resources Research*, 20 (11) 1685-1690.
- DE LILLIS, M. y TESTI, A. (1990); Post-fire dynamics in a disturbed mediterranean community in central Italy. En GOLDAMMER, J.G. y JENKINS, M.J. (Eds). *Fire in ecosystems dynamics. Mediterranean and northen perspective*, 33-42. SPB Academic Publishing, The Hague, 53-62.
- De LIMA, J.L.M.P. (1989): *Overland flow under rainfall: some aspects related to modelling and conditioning factors*. Tesis Doctoral, Agricultural University Wageningen, 160 p.
- DE PLOEY, J. (1981): Crusting and time-dependent rainwash mechanims on loamy soil. E MORGAN, R.P.C. (Ed.): *Soil Conservation: Problems and Prospects*, Wiley, 139-152.
- DE PLOEY, J. (1983): Rainfall simulation, runoff and soil erosion. *Catena Supplement*. 4, 214 p.

- DE PLOEY, J. y POESEN, J. (1985). Aggregate stability, runoff and interrill erosion. En RICHARDS, K.S., ARNETT, R.R. y ELLIS, S.(Eds.): *Geomorphology and Soils*, George Allen and Unwin, London, 99-120.
- DEBANO L.F. y RICE, R.M. (1973): Water-repellency. Their Implications. *Journal of Forestry*, 220-223.
- DEBANO, L.F. (1971): The Effect of Hydrophobic Substances on Water Movement in Soil During Infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, 340-343.
- DEBANO, L.F. (1981): *Water Repellent Soils: a Start-of-the-art*. USDA General Technical Report PSW-46, 21 p.
- DEBANO, L.F., MANN, L.D. y HAMILTON, D.A. (1970): Translocation of hydrophobic Substances into Soil by Burning Organic Litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 34, 130-133.
- DEBANO, L.F., SAVAGE, S.M. y HAMILTON, D.A. (1976): The Transfer of Heat and Hydrophobic Sustances During Burning. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 779-782.
- DeBOER, D.W., MOSHREF-JAVADI, A. y CHU, S.T. (1988): Application of the Green-Ampt Infiltration Equation to Sprinkler Irrigation Management. *Applied Agricultural Research*, 3 (3) 128-132.
- DENDY, F.E. y BOLTON, G.C. (1976): Sediment yield-runoff drainage area relationship in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, 264-266.
- DI CASTRI, F., GOODALL, D. y SPECHT, R. (1981.): *Ecosystems of the World 11. Mediterranean Type Shrublands*. Elsevier, 610 p.
- DIAZ-FIERROS, F., BENITO, E. y PEREZ, R.:(1987): Evaluation of the U.S.L.E. for prediction of erosion in burnt forest areas in Galicia (NW Spain). *Catena*, 14, 189-199.
- DIAZ-FIERROS, F., CALVO, R. y PAZ, A. (1982): *As Especies Forestais e os Solos de Galicia*. Publicaciones do Seminario de Estudos Galegos, La Coruña, 161 p.
- DISKIN, M.H. y GREEN, I.R.A. (1985): A Case of Delayed Subsurface Flow in an Urban Catchment. *Water S.A.*, 11 (3) 137-148.
- DIXON, R.M. (1971): Infiltration role of large soil pores: a channel system concept. in E.J. MONKE (Ed): *Biological effect in the hidrological cicle*, 136-147.
- DIXON, R.M. y PETERSEN, A.E. (1964): *Construction and operation of a modified spray infiltrometer*. Univ. of Wis. Res. Rep. 15. Madison., 31 p.
- DIXON, R.M. y PETERSEN, A.E. (1968): A vacuum system for accumulation runoff from infiltrometers. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32 (1) 123-125).
- DONEEN, L.D. y HENDERSON, D.W. (1953): Compaction of irrigated soils by tractors. *Agricultural Engineering*, 34, 94-95.
- DORTIGNAC, E.J.(1951): *Desing and operation of Rocky Mountain Infiltrrometer*. USDA Forest Ser. Rock Mountain Forest and Range.Exp. St. paper 5., Ft. Collins Colorado. 68 p..
- DOUGLAS, I. (1977): *Humid Landforms*. Australian National University Press, Camberra, 288 p.
- DUCHAFOUR, P. (1975): *Manual de edafología*. Barcelona, Toray-Masson, s.a., 476 p.
- DUNIN, F.X. (1976): Infiltration: Its Simulation for Field Conditions. In RODDA, J.C. (Ed.): *Facets of Hydrology*. John Wiley and Sons, Bristol, 199-227.
- DUNIN, F.X. (1987): Run-off and drainage from grassland catchments. In SNAYDON, R.W. (Ed.): *Managed Grasslands, B. Analytical Studies*, 205-213.
- DUNNE, T. (1978): Field studies of hillslope flow processes. En KIRKBY, M.J. (Ed.): *Hillslope Hydrology*, 227-290.
- DUNNE, T. (1990): Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow. En HIGGINS, C.G. y COATES; D.R. (Eds.): *Grounwater geomorphology: the role of subsurface water in earth surface processes and landforms*, 1-28.
- DUNNE, T. y BLACK, R.D. (1970): Partial area contribution to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Research*, 6, 1269-1311.

- DUNNE, T. y DIETRICH, W. E. (1980a): Experimental study of Horton overland flow on tropical hillslopes. 1. Soil conditions, infiltration and frequency of runoff. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 35, 40-59.
- DUNNE, T. y DIETRICH, W. E. (1980b): Experimental investigation of Horton overland flow on tropical hillslopes. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 35, 60-80.
- DUNNE, T. y LEOPOLD, L.B. (1978): *Water in Environmental Planning*. W.H Freeman, San Francisco, 818 p.
- DUNNE, T., DIETRICH, W.E. y BRUNENGO, M.J. (1980): Recent and past erosion rates in semi-arid Kenya. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 29, 130-140.
- DUNNE, T., MOORE, T.R. y TAYLOR, C.H. (1975): Reconition and prediction of runoff producing zones in humid regions. *Hydrol. Sci. Bull.*, 6, 1269-1311.
- DURGIN, P. (1984): Subsurface drainage erodes forested granitic terrace. *Progress in Physical Geography*, 5 (1) 24-39.
- EDWARDS, A.P. y BREMMER, J.M. (1967): Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 18, 64-73.
- EDWARDS, L.M. (1988): The Effect of Slope Position and Cropping Sequence on Soil Physical Properties in Prince Edward Island. *Can. J. Soil Sci.*, 68, 763-774.
- EDWARDS, L.M. y BURNEY, J.R. (1987): Soil Erosion losses under freeze/thaw and winter ground cover using a laboratory rainfall simulator. *Canadian Agricultural Engineering*, 29 (2) 109-115.
- EDWARDS, L.M. y BURNEY, J.R. (1989): The effect of antecedent freeze-thaw frequency on runoff and soil loss from frozen soil with and without subsoil compaction on ground cover. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 799-811.
- EDWARDS, L.M. y BURNEY, J.R. (1991): Sediment Concentration of Interrill Runoff under Varying Soil, Ground Cover, Soil Compaction, and Freezing Regimes. *Journal of Environment Quality*, 20 (2) 403-407.
- EDWARDS, L.M. y BURNEY, J.R. (1992): Sedimet fractions in interrill runoff under various conditions of ground cover compaction and freeze/thaw using a rainfall simulator. *Canadian Agricultural Engineering*, 34 (1) 33-40.
- EDWARDS, W.L., NORTON, L.D. y REDMON, C.E. (1988): Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 483-7.
- EDWARDS, W.M. (1982): Predicting tillage effects on infiltration. *ASAE Special Publication 44*, 05-115.
- EDWARDS, W.M., SHIPITALO, M.J., OWENS, L.B. y NORTON, L.D. (1990): Effect of *Lumbricus Terrestris* L. burrows on hydrology of continuous no-till corn fields. *Geoderma*, 46, 73-84.
- EHLERS, W. (1975): Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. *Soil Science.*, 119, 242-49.
- ELIAS CASTILLO, J. y RUIZ BELTRAN, L. (1977): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.
- ELLISON, W.D. (1947): Soil erosion studies. II. Soil detachment hazard by raindrop impact. *Agricultural Engineering*, 28, 197-201.
- ELRICK, D.E., REYNOLDS, W.D., GEERING, H.R. y TAN, K.-A. (1990): Estimating Steady Infiltration Rate Times for Infiltrimeters and Permeameters. *Water Resources Research*, 26 (4) 759-769.
- ELWELL, H.A. y MAKWANYA, H. (1980): *Design and Calibration of a Rainfall Simulator Nozzle Assembly for Laboratory and Field Studies*. Research Bulletin Number 25, 34 pp.
- ELWELL, H.A. y STOCKING, M.A. (1976): Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rodhesia. *Geoderma*, 15, 61-70.
- EMBLENTON, C. y THORNES, J.B. (1979): *Process in Geomorphology*. Arnold, 422 p.
- EMERSON, W.W. (1959): The structure of soil crumbs. *Journal of Soil Science*, 10, 235-244.

- ENGELMARK, H. (1988): Rates of Infiltration into frozen and unfrozen fine sand. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 25 (2) 343-347.
- EPEMA, G.F. y RIEZEBOS, H.Th. (1983): Fall velocity of waterdrops at different heights as a factor influencing erosivity of simulated rain. En J. De PLOEY (Ed.): *Rainfall Simulation, runoff and Soil Erosion*, Catena supplement, 4, 1-17.
- EPSTEIN, E., y GRANT, W.J. (1966): *Design construction and calibration of a laboratory rainfall simulator*. Univ. of Maine Tech. Bull. n° 22.
- ESEN, I.I. (1987): Least-square estimates of the Horton infiltration parameters. *Soil Science*, 144 (1) 6-10.
- ESEN, I.I. (1989): Estimastion of Green-Ampt parameters from infiltrometer data. *Soil Science*, 147 (4) 231-237.
- ESSERY, C.I., WILCOCK, D.N. y McCLEAN, W. (1987): A computer-based datalogging system used to investigate the infiltration process under natural rainfall conditions. *Hydrological Processes*, 1, 283-292.
- EVANS, E. (1980): Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. En KIRKBY, M.J. y MORGAN, R.P.C. (Eds.): *Soil Erosion*, 109-128.
- EVANS, R.G., SMITH, C.J., MITCHELL, P.D. y NEWTON, P.J. (1990a): Furrow infiltration on nontilles beds with cracking soils. *Journal of Irrigaion and Drainage Engineering*, 116 (5) 714-33.
- EVANS, R.G., SMITH, C.J., OSTER, J.D. y MYERS, B.A. (1990b): Saline water application effects on furrow infiltration of red-brown earths. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 33 (5) 1563-72.
- EVENARI, M., SHANAN. y TADMOR, N.H. (1971): *The Negev, the challenge of a desert*. Harvard University Press.
- FAO (1977): *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. ONU-FAO, 70 p.
- FARRELL, D.A y LARSON, W.E. (1972): Dynamics of the soil water system during a rainstorm. *Soil Science*, 113 (2) 88-95.
- FARRES, P. (1978). The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*, 3, 243-54.
- FARRES, P.J. (1980): Some Observations on the Stability of Soil Aggregates to Raindrop Impact. *Catena*, 7, 223-231.
- FARRES, P.J. (1987): The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena*, 14, 119-30.
- FAULKNER, H. (1990): Vegetation cover density variations and infiltration patterns on piped alkali sodic soils: implications for the modelling of overland flow in semi-arid areas. En THORNES, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion: Process and Environments*, 317-346.
- FERNANDEZ M.C., GIMENO, P. y GONZALEZ, J. (1988): Impacto del fuego sobre ecosistemas edáficos. *II Congreso Nacional sobre la Ciencia del suelo*, S.E.C.S./I.R.N.A., 603-608.
- FINLAYSON, B.L., GERITS, J. y Van WESEMAEL, B. (1987): Crusted Microtopogrphy on Badland Slopes in Southeast Spain. *Catena*, 14, 131-144.
- FLANAGAN, D.C FOSTER, G.R. y MOLDENHAUER, W.C. (1986): *Storm pattern effet on runoff, sediment, and nutrient loss*. ASAE Paper 86-2019, 19 p.
- FLANAGAN, D.C., FOSTER, G.R. y MOLDENHAUER, W.C. (1987): Storm Pattern Effect on Infiltration, Runoff, and Erosion. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 31 (2) 414-420.
- FLANAGAN, D.C., FOSTER, G.R. y MOLDENHAUER, W.C. (1987): How storm pattern effet on runoff, sediment, and nutrient loss. En S.-Y. LUK (Ed.): *Pre-conference proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*, 444-456.
- FOK, S.-Y. (1987): *Infiltration Development and Application*. Proceedings of the international conference on infiltration development and application, University of Hawai at Manoa, Honolulu, 580 p.

- FOK, S.-Y. (1988): *Infiltration Principles and Practices*. Post-conference proceedings of the international conference on infiltration development and application, University of Hawai at Manoa, Honolulu, 571 p.
- FOK, Y.-S. (1985): Sorptivity variation during infiltration. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 1808-1810.
- FOLEY, J.L., LOCH, R.J., GLANVILLE, S.F. y CONNOLLY, R.D. (1991): Effects of tillage, stubble and rainfall energy on infiltration. *Soil and Tillage Research*, 0, 45-55.
- FOSTER, G.R. (1979): Current rainfall simulator activities at Lafayette, Indiana. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA , ARS-W-10/july 1979, 139-145.
- FOSTER, G.R., EPPERT, F.P. y MEYER, L.D. (1979): A programmable rainfall simulator for field plots. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA , ARS-W-10/july 1979, 45-63.
- FOSTER, G.R., NEIBLING, W.H. y NATTERMAN, R.A. (1982): *A programmable rainfall simulator*. ASAE paper nº 82-2570.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et Erosion*. Paris, Presses Universitaires de France, 204 p.
- FRANCIS, C.F. (1986a): Soil erosion on fallow fields: and example from Murcia. *Papeles de Geografía Física*, 11, 21-8.
- FRANCIS, C.F. (1986b): Subsurface hydrology of gully heads (Ugijar basin). *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España*, 67-70.
- FRANCIS, C.F. (1986c): Variaciones sucesionales de la vegetación en campos abandonados de la provincia de Murcia, España. *Ecología*, 4, 35-47.
- FRANCIS, C.F. (1990): Soil Erosion and Organic Matter Losses on Fallow Land: A Case Study from South-East Spain. En BOARMAN, J., FOSTER, I.D.L. y DEARING, J.A. (Eds.): *Soil Erosion on Agricultural Land*, 331-338.
- FRANCIS, C.F. y THORNES, J.B. (1990a). Matorral: Erosion and Reclamation. En ALBADALEJO, J., STOCKING, M.A. and DIAZ, E. (Eds.): *Degradacion y Regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 86-115.
- FRANCIS, C.F. y THORNES, J.B. (1990b). Runoff hydrografs from Three Mediterranean Vegetation Cover Types. En J.B THORNES (Ed.): *Vegetation and Erosion*, 365-384.
- FRANCIS, C.F., THORNES, J.B., ROMERO, A., LOPEZ, F. y FISHER, G.C. (1986): Topographic Control of Soil Moisture, Vegetation Cover and Land Degradation in a Moisture Stressed Mediterranean Enviroment. *Catena*, 13, 211-225.
- FREEBAIRN, D.M. y BOUGHTON, W.C. (1985): Hydrologic Effects of Crop Residue Management Practices. *Aust. J. Soil Res.*, 23, 23-35.
- FREEBAIRN, D.M. y BOUGHTON, W.C. (1989): Surface Runoff Experiments on the Eastern Darling Downs. *Aust. J. Soil Res.*, 19, 133-146.
- FREEZE, R.A. (1972): Role of subsurface flow in generating surface runoff, upstream source area. *Water Resources Research*, 8 (5) 1272-1283
- FREZEE, R.A. y CHERRY, J.A. (1979): *Groundwater*. Pretince-Hall, Englewood Cliffs, 604 p.
- FRIEDRICH, C.A. (1951): *Suggestions for manufacture and operation of a six inch infiltrometer ring*. Northern Rocky Mountain Forest and Range Expt. Station, Research Note 104.
- FULLEN, M.A. (1985a): Compaction, hydrological processes and soil erosion on loamy sands in east Shropshire, England. *Soil and Tillage Research*, 6, 17-29.
- FULLEN, M.A. (1985a): Erosion of arable soils in Britain. *Intern. J. Environmental Studies*, 26, 55-69.
- FULLEN, M.A. (1991a): A comparison of runoff and erosion rater on bare and grassed loamy sand soils. *Soil Use and Management*, 7 (3) 136-139.
- FULLEN, M.A. (1991b): Soil organic matter and erosion processes on arable loamy sand soils in the west midlands of England. *Soil Technology*, 4 19-31.
- FULLEN, M.A. y REED, A.H. (1986): Rainfall, runoff and erosion on bare arable soil in east Shropshire, England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 413-25.
- GAMOUGOUN, N.D., SMITH, R.P., WOOD, M.K. y PIEPER, R.D. (1984): Soil, management, and hydrologic response to grazing management at Fort Stanton, New Mexico. *Journal of Range Management*, 35 (6) 538-41.

- GARCÍA BARTUAL, R. (1986): *Estructura estocástica de los hietogramas correspondientes a precipitaciones extremas*. Proyecto final de carrera, Universidad Politécnica de València, 252 p.
- GARCIA RUIZ, J.M. y LASANTA, T. (1990): Land-use changes in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10 (3), 267-79.
- GARCIA RUIZ, J.M., LASANTA, T., ORTIGOSA, L. y ARNAEZ-VADILLO, J. (1986): Pipes in cultivated soils of la Rioja. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 58, 91-100.
- GARCIA, J.M., LASANTA, T. y SOBRON, I. (1988): Problemas de evolucion geomorfológica en campos abandonados: El Valle del Jubera (Sistema Ibérico). *Zubia*, 6, 99-114 p.
- GARCIA-FAYOS, P. (1987): El impacto de los incendios forestales. En *El medio ambiente en la comunidad valenciana*, 176-179.
- GARCÍA-RUIZ, J.M. (1991): Consecuencias ambientales del abandono agrícola. En *Procesos de desertificación en condiciones ambientales mediterráneas*, UIMP, València, 22 p.
- GARCIA-RUIZ, J.M. y ORTIGOSA, L.M. (1988a): Algunos efectos de las repoblaciones forestales: cambios en la dinámica de los cauces en pequeñas cuencas del Pirineo Central Español. *Cuaternario y Geomorfología*, 33-42.
- GARCIA-RUIZ, J.M. y ORTIGOSA, L.M. (1988b): Algunos efectos geomorfológicos de las repoblaciones forestales: el valle del Jubera (Sistema Ibérico). *Zubia*, 6, 99-114.
- GARCÍA-RUIZ, J.M., RUIZ-FLAÑO, P., LASANTA, T., MONSERRAT, G., MARTINEZ-RICA, J.P. y PARDINI, G. (1991): Erosion in abandoned field, what is the problem?. En SALA, M., RUBIO, J.L. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (Eds.): *Soil Erosion Studies in Spain*, 97-108.
- GARDNER, W.R. y WIDTSOE, J.A. (1921): The movement of soil moisture. *Soil Science*, 11, 215-232.
- GARZA, N.E. Jr., y BLACKBURN, W.H. (1985): The effect of early winter or spring burning on runoff, sediment, and vegetation in the Post Oak Savannah of Texas. *Journal of Range Management*, 38 (3) 280-82.
- GBUREK, W.J. (1990): Initial contributing area of a small watershed. *Journal of Hydrology*, 118, 287-403.
- GEIGER, F. (1970): Die Ariditat in Sudostspanien. *Stuttgarter Geographische Studien*, Band 77.
- GENERALITAT (1987): *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Valencia, 417 p.
- GENERALITAT (1988): *Los incendios forestales en la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Valencia, 246 p.
- GERITS, J., IMESON, A.C., VERSTRATEN, J.M. y BRYAN, R.B. (1987): Rills development and badland regolith properties. *Catena Supplement*, 8, 141-60.
- GERITS, J.J.P. (1991): *Physico-chemical tresholds for sediment detachment, transport and deposition*. Tesis doctoral inedita. Universiteit van Amsterdam, 186 pp.
- GERITS, J.J.P., IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M.(1986): Chemical thresholds and erosion in saline and sodic materials. *Estudios sobre Geomorfologia sobre el Sur de España*, 75-79.
- GERLACH, T. (1967): Evolutions actuelles des versants dans les Carpathes, d'après l'exemple d'observations fixes. En MACAR, P. (Ed.): *L'evolution des versants*, 129-138.
- GERMANN, P.F. (1987): Note: the three modes of water flow through a vertical pipe. *Soil Science*, 144 (2) 153-154.
- GERMANN, P.F. y BEVEN, K. (1986): A distribution function approach to water flow in soil macropores based on kinematic wave theory. *Journal of Hydrology*, 83, 173-183.
- GHOSH, R.K. (1977): Antecedent soil moisture and influence on infiltration. *J. Agricultural Engineering*, XIV, 2, 1-5.
- GHOSH, R.K. (1981): Second parameter of Philip's infiltration equation I. *J. Agricultural Engineering*, XVIII (3-4) 73-64.
- GHOSH, R.K. (1982): Infiltration rates at long times. *Soil Science*, 134 (6) 345-347.
- GHOSH, R.K. (1985): A note of Lewis-Kostialçkov infiltration equation. *Soil Science*, 139 (3) 193-196.

- GHOSH, R.K. y SASMAL, S. (1983a): Second parameter of Philip's Equation-II. *J. Agricultural Engineering*, XX (1) 59-64.
- GHOSH, R.K. y SASMAL, S. (1983b): Second parameter of Philip's infiltration equation-III. *J. Agricultural Engineering*, XX (3-4) 149-154.
- GIFFORD, G.F. (1976): Applicability of some infiltration formulae to rangeland infiltrometer data. *Journal of Hydrology*, 28, 1-11.
- GILLEY, J.E. y FINKNER, S.C. (1984): *Effect of Water Depth on Soil Detachment Caused by Raindrop Impact*. ASAE Paper 84-2587, 14 p.
- GILLHAM, R.W. (1984): The Effects of the Capillary Fringe on Water-table Response. *Journal of Hydrology*, 67, 307-324.
- GIOVANNINI, G. y LUCCHESI, S. (1983): Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Science*, 136, 231-36.
- GIOVANNINI, G. y LUCCHESI, S. (1984): Differential thermal Analysis and Infrared Investigations on Soil Hydrophobic Substances. *Soil Science*, 137 (6) 457-463.
- GIOVANNINI, G., LUCCHESI, S. y GIACHETTI, M. (1988): Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 143, 220-226.
- GIRALDEZ, J.V. y SPOSITO, G. (1985): Infiltration into Swelling Soils. *Water Research Resources*, 21 (1) 33-44.
- GISH, T.J. y STARR, J.L. (1983): Temporal variability of infiltration under field conditions. *Advances in infiltration*, A.S.A.E., 122-131.
- GLANVILLE, S.F. y SMITH, G.D. (1988): Aggregate breakdown in clay soils under simulated rain and effects on Infiltration. *Aust. J. Soil Res.*, 26, 111-120.
- GLASS, R.J. y STEENHUIS, T.S. (1984): *Factors Influencing Infiltration Flow Instability and Movement of Toxics in Layered Sandy Soils*. ASAE Paper 84-2508.
- GONZALEZ HIDALGO, J.C. (1990): Humedad en el suelo y Respuestas Hidrológicas en Laderas de Exposición Topográfica Contrastada. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 585-596.
- GONZALEZ HIDALGO, J.C. (1992): *Pautas Espaciales de la Erosión Hídrica en el Semiárido Aragonés. Exposición Topográfica y Cubierta Vegetal, Factores de Erosión*. Tesis Doctoral Inédita, Universidad de Zaragoza, 375 p.
- GONZALEZ, J., FERNANDEZ, M.C. y GIMENO, G.P. (1992): Efectos de los incendios forestales sobre el suelo. *Suelo y Planta*, 71-79.
- GOUDIE, A. (1981): *The Human Impact on the Nature Environment*. Blackwell, Oxford, 388 p.
- GOVERS, G. (1991): A field study on topographical and topsoil effects on runoff generation. *Catena*, 18, 91-111.
- GRANT, W.J., y STRUCHMEYER, R.A. (1959): Influence of the coarse fraction in two main potatoes soils on infiltration, runoff and erosion. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 391-396.
- GREEN, R.E y AMPT, G. (1911): Studies of soil physics 1. The flow of air and water through soils. *J. Ari. Sci.*, 4, 1-24.
- GREGORY, K.J. (1979): Hydrogeomorphology: how applied should we become?. *Progress in Physical Geography*, 3 (1) 84-101.
- GREGORY, K.J. y WALLING, D.E. (1973): *Drainage Basins Forms and Processes: A Geomorphological Approach*. Arnold, London 458 p.
- GRIERSON, I.T. y OADES, J.M. (1977): *A rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion*. *J. Agr. Engr. Res.*, 22, 37-44.
- GRISMER, M. E. (1988): Water vapor adsorption kinetics and isothermal infiltration. *Soil Science*, 146 (5) 297-302.
- GRISMER, M.E. (1986): Pore-size distributions and infiltration. *Soil Science*, 141 (4) 249-260.
- GRISMER, M.E. (1987): Kinetics of water vapor adsorption on soils. *Soil Science*, 143 (5) 367-371.

- GUEBERT, M.D. y GARDNER, T.W. (1989): Unsupervised SPOT classification and infiltration rates on surface mined watersheds, central Pennsylvania. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55 (10) 1479-1486.
- GUNN, R. y KINZER, G.R. (1949): Terminal velocity of water droplets in stagnant air. *Journal of meteorology*, 6, 243-248.
- HABIB, A., ZARTMAN, R.E. y RAMSEY, R.H. (1988): Intrapedal macropore distribution and infiltration rate of three friona polypedons. *Soil Science*, 145 (4) 244-249.
- HAMON, W.R. (1979): Infiltrometer using simulated rainfall for infiltration research. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 54-60.
- HARR, R.D. (1977): Water flux in soil and subsoil on a steep forested slope. *Journal of Hydrology*, 33, 37-58.
- HARVEY, A.M. (1982): The role of piping in the development of badlands and gully systems in south-east Spain. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 317-336.
- HARVEY, A.M., y CALVO, A. (1991): Process interactions and rill development on badlands and gully slopes. *Z. Geomorph. N. F. Suppl.-Bd.*, 83, 175-94.
- HASEGAWA, S. y SATO, T. (1987): Water by Roots in Cracks and Water Movement in Clayey Subsoil. *Soil Science*, 54-60.
- HAVERKAMP, R., RENDOM, L. y VACHAUD, G. (1988): Infiltration equations and their applicability for predictive use. En Y.-F. FOK (Ed.): *Pre-Conference Proceedings of The International Conference on infiltration Development and Application*, 142-152.
- HAZELHAFF, L., VAN HOOFF, P., IMESON, A.C. y KWAAD, F.J.P.M. (1981): The Exposure of Forest Soil to Erosion by Earthworms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 235-250.
- HELIOTIS, F.D. y DeWITT, C.B. (1987): Rapid water table responses to rainfall in a northern peatland ecosystem. *Water Resources Bulletin*, 23 (6) 1011-16.
- HENDRICKX, J.M.H. (1990): Determination of hydraulic soil Properties. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Eds.): *Process Studies in Hillslope Hydrology*, 43-92.
- HENDRIKS, M.R. y IMESON, A.C. (1984): Non-channel storm period sediment supply from a topographical depression under forest in the Keuper region of Luxembourg. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 49, 51-58.
- HERLIHY, T.E., HAMLETT, J.M. y SHAW, M.D. (1990): *Distribution patterns and rates for a fixed-nozzle, solenoid-controlled variable-intensity, rainfall simulator*. ASAE Paper 90-2512, 22 pp.
- HERWITZ, S.R. (1986): Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 401-412.
- HERWITZ, S.R. (1988): Buttresses of tropical rainforest trees influence hillslope processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13, 563-567.
- HEWLETT, J.D. (1961): Some ideas about storm runoff and base flow. United States Department Agriculture, Forest Service. Southeast Forest and Range Experiment Station, *Annual Report*, 62-66.
- HEWLETT, J.H. y HIBBERT, A.R. (1967): Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. En SOPPER, W.E. y LULL, H.W. (Eds): *Proceedings of Inter. Symp. of Forest Hydrology*, 275-290.
- HIBBERT, A.R. (1985): Storm runoff and sediment production after wildfire in chaparral. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, 15, 31-42.
- HILLEL, D. (1971): *Soil and Water. Physical Principles and Processes*. Academic Press, New York.
- HILLEL, D. (1982): *Introduction to Soil Physics*. Academic Press, New York.
- HILLS, R.C. (1970): *The determination of the infiltration capacity on field soils using the cylinder infiltrometer*. B.G.R.G., Technical bull., 3, Goebooks Ltd., Norwich, 24 p.
- HINO, M., FUJITA, K. y SHUTTO, H. (1987): A laboratory experiment on the role of grass for infiltration and runoff processes. *Journal of Hydrology*, 90, 303-325.

- HINO, M., ODAKA, Y., NADAOKA, K. y SATO, A. (1988): Effect of initial soil moisture content on the vertical infiltration process-a guide to the problem of runoff-ratio and loss. *Journal of Hydrology*, 102, 267-284.
- HIRSCHI, M.C., BARNHISEL, R.I., RUETTEN, M., LEOPOLD, M. y WILLIAMS, R.G. (1981): *Portable rainfall simulator for erosion studies*. ASAE Paper-80-2058, 15 p.
- HIRSCHI, M.C., MITCHELL, J.K., FREEZOR, D.R. y LESIKAR, B.J. (1990): Microcomputer-Controlled Laboratory Rainfall Simulator. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 33 (6) 1950-1953.
- HODGES, W.K. (1982): Hydraulic characteristics of a badland pseudo-pediment slope system during simulated rain-storm experiments. En BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 127-152.
- HODGES, W.K. y BRYAN, R.B. (1982): Runoff and Sediment Transport Dynamics in Canadian Badland Micro-Catchments. En BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*. Geobooks, University Press, Cambridge, 13-46.
- HODGES, W.K. y BRYAN, R.B. (1982): Runoff and Sediment Transport Dynamics in Canadian Badland Micro-Catchments. En BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 13-46.
- HOFMANN, L. y RIES, R.E. (1991): Relationship of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *Journal of soil and water conservation*, 46 (2) 143-147.
- HOGARTH, W.L., PARLAGE, J.-Y., HAVERKAMP, R., DAVIDOFF, B. y SELIM, H.M. (1989): Application of an Infiltration Model to Experimental Data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (6) 1913-1914.
- HOLLAND, M.E. (1969): *Desing and testing of a rainfall system*. Col. State Univ. Exp. Sta. CER 69-70 MEH 21 Ft. Collins.
- HOLTAN, H.N. (1961): *A concept of intiltration estimates in watershed engineering*. ARS-41-51, USDA Agricultural Research Service, 25 p.
- HOLTAN, H.N. y KIRKPATRICK, M.H. (1950): Rainfall infiltration and hydraulics of flow in runoff computations. *Trans. Amer. Geogh. Union*, 31 (5) 771-779.
- HORTON, J.H. y HAWKINS, R.H. (1965): Flow path of rain from soil surface to the water table. *Soil Science*, 100 (6) 377-383.
- HORTON, R.E. (1933): The role of infiltration in the hydrologic cicle. *EOS Trans A.G.U.*, 14, 446-460.
- HORTON, R.E. (1940): An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399-417.
- HORTON, R.E. (1941): An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 5, 399-417.
- HORTON, R.E. (1945): Erosional developmentof streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geolog. Soc. Am.*, 56, 275-370.
- HUDSON, N. (1963): Raindrop characteristics in south central United States. *Rhodesian Jour. Agr. Res.*, 1, 6-11.
- HUDSON, N. (1982): *Conservación de suelo*. Reverté, s. a. Barcelona, 335 p.
- HURSCH, C.R. (1936): Storm-waterand and absortion. *Trans. Am. Geophys. Union*, 17, 301-302.
- HURSCH, C.R. y BRATER, E.F. (1941): Separating storm hydrographs from small drainage areas into surface and subsurface flow. *Trans. Am. Geophys. Union*, 863-870.
- IBAÑEZ, J.J., LOBO, M.C., ALMENDROS, G. y POLO, A. (1983): Impacto del fuego sobre algunos ecosistemas edáficos de clima mediterráneo continental en la zona centro de España. *Boletín de la Estación central de Ecología*, 24, 755-77.
- IGME (1974): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. SAGUNTO (Hoja 668).
- IGME (1976): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. CANALS (Hoja 794).
- IGME (1978a): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. ELDA (Hoja 871).
- IGME (1978b): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. ALICANTE (Hoja 872).
- IGME (1980a). *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. CHESTE (Hoja 721).

- IGME (1980b). *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. JALANCE (Hoja 745).
- IGME (1980c): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. NAVARRES (Hoja 769).
- IGME (1981): *Mapa Geológico de España (E:1/50.000)*. JATIVA (Hoja 795).
- IMESON, A. C. (1974): The origin of sediment in moorland catchment with particular reference to the role of vegetation. En GREGORY K.J. y WALLING, D.E. (Eds.): *Fluvial processes in instrumented watersheds*, 59-72.
- IMESON, A. C. (1977): A simple field-portable rainfall simulator for difficult terrain. *Earth Surface Processes*, 2, 431-36.
- IMESON, A.C. (1983): Studies of erosion the thresholds in semi-arid areas: field measurement of soil loss and infiltration in northern Morocco. *Catena Supplement* 4, 79-89.
- IMESON, A.C. (1984): An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. En FANTECHI, R. y MARGARIS, N.S. (Eds.): *Desertification in Europe*, 110-25.
- IMESON, A.C. (1986): Investigating volumetric changes in clayey soil related to subsurface water movement and piping. *Z. Geomorph. N.F. Sppl.-Bd.*, 60, 115-30.
- IMESON, A.C. VIS, M. y DUYSINGS, J.J.H.M. (1984): Surface and subsurface sources of suspended solids in forested drainage basins in the Keuper region of Luxembourg. In BURT, T.P. y WALLING, D.E. (Eds.): *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*, 219-33.
- IMESON, A.C. y JUNGERIUS, P.D. (1976): Aggregate Stability and Colluviation in the Luxembourg Ardennes; An Experimental and Micromorphological Study. *Earth Surface Processes*, 1, 259-271.
- IMESON, A.C. y KWAAD, F.J.P.M. (1990): The response of tilled soils to wetting by rainfall and dynamic character of soil erodibility. En BOARDMAN, J. FOSTER, D.L. y DEARING, J.A. (Eds.): *Soil Erosion on Agricultural Land*, 3-14.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1985): The Erodibility of Highly Calcareous Soil material from Southern Spain. *Catena*, 12, 291-306.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1986): Erosion and sediment generation in semiarid and Mediterranean environments: the response of soils to wetting by rainfall. *Journal of Water Resources*, 5 (1) 388-417.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1988): Rills on badland slopes: a physico-chemical controlled phenomenon. *Catena supplement* 12, 139-50.
- IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1989): The microaggregation and erodibility of some semi-arid and mediterranean soil. *Catena supplement* 14, 11-24.
- IMESON, A.C. y VIS, M. (1982). Factors influencing the erodibility of soils in natural and semi-natural ecosystems at different in the Central Cordillera of Colombia. *Z. Geomorph. N.F. Sppl.-Bd.*, 44, 91-105.
- IMESON, A.C. y VIS, M. (1984a): Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma*, 34, 185-200.
- IMESON, A.C. y VIS, M. (1984b): Seasonal variations in soil erodibility under different land-use types in Luxembourg. *Journal of Soil Science*, 35, 323-31.
- IMESON, A.C. y VIS, M. (1984c): The output of sediments and solutes from forested and cultivated clayey drainage basins in Luxembourg. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9, 585-94.
- IMESON, A.C., KWAAD, F.J.P.M., VERSTRATEN, J.M. (1982): The relationship of soil physical and chemical properties to the development of badlands in Morocco. En BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 47-70
- IMESON, A.C., VERSTRATEN, J.M., van MULLIGEN, E.J. y SEVINK, J. (1992): The Effect of Fire and Water Repellency on Infiltration and Runoff under Mediterranean Type Forest. *Catena*, 19, 345-361.
- IMESON, A.C., VIS, M. y WATER, E. de (1981): The measurement of water-drop impact forces with a piezo-electric transducer. *Catena*, 8, 83-96.
- IZZARD, C.F. (1944): The surface profile of overland flow. *Trans. Amer. Geogh. Union, Papers Hydrology*, 693-711.

- JACKSON, M. L. (1982): *Análisis químicos de suelos*. Omega, Barcelona, 662 p.
- JACOBSEN, P. (1980): *Urban Surface Runoff Simulation*. Ph. D. Thesis, Technical University of Denmark, Dep. of Sanitary Engineering, Rep. 80-51, 230 p.
- JENNINGS, G.D., JARRETT, A.R. y HOOVER, J.R. (1987): Simulated rainfall duration and sequencing affect soil loss. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 30 (1) 158-161, 165.
- JENNINGS, G.D., JARRETT, A.R. y HOOVER, J.R. (1988): Evaluating the effect of Puddling on Infiltration using the Green and Ampt equation. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 31 (3) 761-768.
- JENNINGS, J.N. (1985): *Karts Geomorphology*. Blackwell, Oxford, 293 pp.
- JOHNSON, C.W. y GORDON, N.D. (1988): Runoff and erosion from rainfall simulator plots on sagebrush rangeland. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 31 (2) 421-27.
- JOHNSON, M.G. y BESCHTA, R.L. (1981): *Seasonal Variation of Infiltration Capacities of Soils in Western Oregon*. USDA Pacific Northwest Forest and Range Experimental Station 1363 Paper, 8 p.
- JOHNSON, R. (1976): *Estadística elemental*. Ed., Trillas, México, 515 p.
- JOHNSTON, H.T., EL-SAWY, E.M. y COCHRANE, S.R. (1980): A study of the infiltration characteristics of undisturbed soil under simulated rainfall. *Earth Surface Processes*, 5, 159-174.
- JOHNSTON, R.S. y SUDBERG, E. (1979): Rainfall simulation on surface mine roads. *Proceedings Rainfall Simulator Workshop*, Tucson, Ariz, USDA-SEA, Agric. Reviews and Manuals ARM-W-10, 151-152.
- JONES, D.M.A. (1959): The shape of raindrops. *Illinois state water survey*, n. 77.
- JONES, J.A.A. (1981): *The Nature of Soil Piping - A review of research*. BGRG Research Monograph 3, 301 p.
- JONES, J.A.A. (1987): The effects of soil piping on contributing areas and erosion patterns. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 229-248.
- JONES, J.A.A. (1988): Modelling pipeflow contributions to stream runoff. *Hydrological Processes*, 2, 1-17.
- JONES, J.A.A. (1990): Piping effects in humid lands. *Geological Soc. of Amer., Special Paper*, 252, 111-138.
- JONES, J.A.A., WATHERN, P., CONNELLY, L.J. y RICHARSON, J.M. (1991): Modelling flow in natural soil pipes and its impact on plant ecology in mountain wetlands. En *Hydrological Basis of Ecologically Sound Management and Groundwater*, IAHS Publ. 202. 131-42.
- JORGENSEN, D.W. y GARDNER, T.W. (1987): Infiltration Capacity of Disturbed Soils: Temporal Change and Lithologic Control. *Water Resources Bulletin*, 23, 6, 1161-1172.
- KAMPHORST, A. (1987): A small rainfall simulator for determination of soil erodibility. *Netherlands Journal of Agricultural Soil Science*, 35, 407-415.
- KAYANE, I. y KOIHOTSU, I. (1988): Some experimental results concerning rapid water table response to surface phenomena. *Journal of Hydrology*, , 215-234.
- KEREN, R. (1989): Water-Drop Kinetic Energy Effect on Water Infiltration in Calcium and Magnesium Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (6) 1624-1628.
- KEREN, R. y SHAINBERG, I. (1981): Effect of Dissolution Rate on the Efficiency of Industrial and Mined Gypsum in Improving Infiltration of a Sodic Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 (1) 103-107.
- KINELL, P.I.A. (1985): Runoff effects on the efficiency of raindrop kinetic energy in sheet erosion. En LAL, R. (Ed): *Soil and Erosion and Conservation*, 399-405.
- KINELL, P.I.A. (1990): The mechanics of raindrop-induced flow-transport. *Aust. J. Soil Res.*, 28, 497-516.
- KINELL, P.I.A., CHARTRES, C.J. y WATSON, C.L. (1990): The effects of fire on the soil in a degraded semi-arid woodland, II. Susceptibility of the soil to erosion by shallow rain-impacted flow. *Aust. J. Soil Res.*, 28, 779-774.
- KIRKBY, F.L. (1948): Infiltration test. *Journal of Forestry*, 46, 375-376.

- KIRKBY, M. (1988): Hillslope runoff processes and models. *Journal of Hydrology*, 100, 315-39.
- KIRKBY, M., ATKINSON, K. y LOCKWOOD, J. (1989): *Aspect, vegetation cover and erosion on semi-arid hillslopes*. Leeds University Working Paper, 23 p.
- KIRKBY, M.J. (1969): Infiltration, throughflow and overland flow. En CHORLEY, R.J. (Ed.): *Water, Earth and Man*, 215-227.
- KIRKBY, M.J. (1978): *Hillslope Hydrology*. Wiley-Interscience, Norwich, 389 p.
- KIRKBY, M.J. (1985): Hillslope Hydrology. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Ed.): *Hydrological Forecasting*. 37-75.
- KIRKBY, M.J. (1986): *Conditions for valley asymetry derived from a slope evolution model*. Working paper 477, Leeds Univ., School of Geography.
- KIRKBY, M.J. y CHORLEY, R.J. (1967): Throughflow, overland flow and erosion. *Bull. Inter. Assoc. Sci. Hydrol.*, 12, 5-21.
- KIRKBY, R.B. y CAMPBELL, I.A. (1986): Runoff and sediment discharge in a semiarid ephemeral drainage basin. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 58, 121-143.
- KLEIJN, W.B., OSTER, J.D. y COOK, N. (1979): A rainfall simulator with nonrepetitious movement of drop outlets. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46., 93-99.
- KNAPP, B.J. (1978): Infiltration and storage of soil water. En KIRKBY, M.J. (Ed.): *Hillslope Hydrology*, 43-72.
- KNIGHTON, D. (1984): *Fluvial forms and process*. Arnold, London.
- KOSTER, E. y LESER, H. (1976): *Trabajos prácticos en geomorfología*. Universitat de València. València, 133 p.
- KOSTIAKOV, A.N. (1932): On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Trans. 6th Commn.int. Soil Sci. Soc.*, Russian Part A, 17-21.
- KUNOW, P. (1966): *El clima de Valencia y Baleares*. Universitat de València, València, 239 p.
- KUTILEK, M. (1980): Constant-rainfall infiltration. *Journal of hydrology*, 45, 289-303.
- KWAAD, F.J.P.M. (1991): Summer and Winter Regimes of Runoff Generation and Soil Erosion on Cultivated Loess Soils (The Netherlands). *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 653-662.
- KWAAD, F.J.P.M. y VAN MULLIGEN, E.J. (1991). Cropping systems effects of maize on infiltration, runoff and erosion on loess soils in South-Limburg (The Netherlands): A comparison of two rainfall events. *Soil Technology*, 4, 281-295.
- LA ROCA, N., CABRELLES, J.L., DUPRE, M., QUILES, X., TORREGROSA, A. y VIÑALS, M.J. (1988): Arroyada superficial y erosion. Estación experimental de requena, Valencia. *Cuatenario y Geomorfología*, 43-56.
- LAFLEN, J.M., BAKER, J.L., HARTWIG, R.O., BUCHELE, W.F. y JOHNSON, H.P. (1978): Soil and Water Loss from Conservation Tillage Systems. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 21 (5) 881-885.
- LAL, R. (1989a): Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: II. Water runoff, soil erosion, and nutrient loss. *Agroforestry Systems*, 8, 97-111.
- LAL, R. (1989b): Soil Management option in the tropics as alternatives to splash and burn. *Soil Technology*, 2, 253-270.
- LAMB, J.J. y CHAPMAN, J.G. (1943): Effect of surface stones on erosion, evaporation, soil temperature and soil moisture. *J. Am. Soc. Agric.*, 35, 567-572.
- LANE, L. (1985): Introduction. En *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-USDE-SRM, January 14-15, 1-2.
- LANGBEIN, W.B. y SCHUMM, S.A. (1958): Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions of the Amer. Geophys. Union*, 51 (4) 292.
- LARONNE, J. (1982): Sediment and solute yield from Mancos Shale hillslopes, Colorado and Utah. In BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 181-194.

- LASANTA, T (1989): *Evolución reciente de la agricultura de Montaña: El Pirineo aragonés*. Geoforma Ediciones, Logroño, 220 pp.
- LASANTA, T. (1988): *The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees*. *Pirineos*, 132, 15-36 p.
- LATTANZI, A.R., MEYER, L.D. y BAUMGARDNER, M.F. (1974): Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 946-50.
- LAUREN, J.G., WAGENET, R.J., BOUMA, J. y WOSTEN, J.H.M. (1988): Variability of saturated hydraulic conductivity in a glossaquic hapludalf with macropores. *Soil Science*, 145, (1) 20-28.
- LAVEE, H. y POESEN, J.W.A. (1991): Overland flow generation and continuity on stone-covered soil surfaces. *Hydrological Processes*, 5, 345-360.
- LAVEE, H. y YAIR, A. (1990): Spatial Variability of Overland Flow in a Small Arid Basin. *IAHS Publication*, 189, 185-120.
- LAVEE, H., IMESON, A.C., PARIENTE, S. y BENYAMINI, Y. (1991): The response of soils to simulated rainfall along a climatological gradient in an arid and semiarid region. *Catena Supplement*, 19, 19-37.
- LAVEE, H., WIEDER, M. y PARIENTE, S. (1989): Pedogenic Indicators of Subsurface Flow on Judean Desert Hillslopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14, 545-555.
- LAWS, J.O. (1941): Measurement of the fall-velocity of water drops and rain drops. *Trans. Am. Geophys. Union*, 22, 709-721.
- LAWS, J.O. y PARSONS, D.A. (1943): The relationship of raindrop size to intensity. *Trans. Am. Geophys. Union*, 24, 452-460.
- LE HOUEROU, H.N. (1981): Impact of Man and his Animals on Mediterranean Vegetation. En DE CASTRI, F., GOODALL, D. y SPECHT, R. (Eds.): *Ecosystems of the World 11. Mediterranean Type Shrublands*. Elsevier, 479-521.
- LEATHAN, P. y RIESBOL, H.S. (1950): Infiltration and retention test as related to spillway design floods. *Trans. Amer. Geogh Union*, 31 (2) 234-242.
- LEAVESLEY, G.H. LUSBY, G.C. y LICHTY, R.W. (1989): Infiltration and Erosion Characteristics of Selected Tephra Deposits from the 1980 Eruption of Mount St. Helens, Washington, USA. *Journal of Hydrological Science*, 34, 3 (6) 339-353.
- LEE, C.R. y SKOGERBOE, J.G. (1985): Cuantificación de erosión control by vegetation on problem soils. En EL SWAIFY, W.C., MOLDENHAUER, W.C. y LO, A. (Eds.): *Soil Erosion and Conservation*. Soil Conservation Soc. America, 437-444.
- LEITCH, C.J. y FLINN, D.W. (1986). Hydrological effects of clearing native forest in North-east Victoria: The first 3 years. *Aust. For. Res.*, 16, 103-16.
- LENTZ, R.W., BELLINA, R.H. y ELIFRITS, C.D. (en prensa): Combined Field and Laboratory Study on the Effect of Bulk Density and Infiltration on Erosion of Reclaimed Surface Mined Land.
- LEOPOLD, L.B., WOLMAN, M.G. y MILLER, J.P. (1964): *Fluvial Processes in Geomorphology*. San Francisco, 522 p.
- LEVIN, J., BEN-HUR, M. GAL, M. y LEVY, G.J. (1991): Rain Energy and Soil Amendments Effects on Infiltration and Erosion of Three Different Soil Types. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 455-65.
- LEVY, G.J., SMITH, H.J.C. y AGASSI, M. (1989): Water Temperature Effect on Hydraulic Conductivity and Infiltration Rate of Soil. *S.-Afr. Tydskr. Plant Grond.*, 6, 4, 240-244.
- LEVY, J.C., Van Der WATT, V.H. y DU PLESSIS, H.M. (1988): Effect of sodium-magnesium systems on soil hydraulic conductivity and infiltration. *Soil Science*, 146 (5) 303-310.
- LEVY, G.J., BERLINER, P.R., Du PLESSIS, H.M. y Van Der WATT, H.c.H. (1988): Microtopographical Characteristics of Artificially Formed Crusts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 (3) 784-791.
- LINK, S.O., GEE, G.W., THIEDE, M.E. y BEEDLOW, P.A. (1990): Response o a Shrub-Steppe Ecosystem to Fire: Soil Water and Vegetational Change. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 4, 163-172.

- LLORENS, P. y GALLART, F. (1990) : Simulación por Ordenador de la Respuesta Hidrológica y de Transporte de Sólidos en una Cuenca de Campos Abandonados. *Actas de la I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 619-628.
- LLORENS, P., (1991): *Resposta hidrológica i dinàmica de sediments en una petita conca pertorbada de muntanya mediterrània*. Universitat de Barcelona, Barcelona, 277 + 30 p.
- LLORENTE, J.M. y LUENGO, M.A., (1986): El abandono de las tierras significado y gestión de las etapas de sucesión secundarias. El ejemplo de los relieves paleozoicos del W. Castellano-leones. *V Reunión del Grupo de Trabajo de la UGI*, Banyoles, 105-114 p.
- LOPEZ GOMEZ, A. (1977): *Geografía de las Terres Valencianes*. Ed. Tres i quatre, València, 235 p.
- LOPEZ GOMEZ, A. y ROSSELLO VERGER, V.M. (1978): *Geografía de la Provincia de Alicante*. Excma. Diputación Provincial de Alicante, 615 p.
- LOPEZ-BERMUDEZ, F. y ALBADALEJO, J. (1990): Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En ALBADALEJO, J., STOCKING, M.A. y DIAZ, E. (Eds.): *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 15-45.
- LOPEZ-BERMUDEZ, F. y TORCAL-SAINZ, L. (1986): Procesos de erosión en tunel (Piping en cuencas sedimentaria de Murcia (España). Estudio preliminar mediante difracción de rayos x y microscopio electrónico de barrido. *Papeles de Geografía Física*, 11, 7-20.
- LUK, S.H., ABRAHAMS, A.D. y PARSONS, A.J. (1986): A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. *Physical Geography*, 7, 344-356.
- LUSBY, G.C. (1977): Determination of runoff and sediment by rainfall simulation. En TOY, T.J. (Ed.): *Erosion: research techniques, erodibility and, sediment yield*. Geobooks Ltd. Norwich, England, 19-39.
- LUXMOORE, R.J., JARDINE, P.M., WILSON, G.V., JONES, J.R. y ZELAZNY, L.W. (1991): Physical and Chemical Controls of Preferred Path Flow Through a Forested Hillslope. *Geoderma*, 46, 139-154.
- LYONS, S.M. y GIFFORD, G.F. (1980): Impact of incremental surface soil depths on infiltration rates, potential sediment losses and chemical water quality. *Journal of Range Management*, 33 (3) 186-189.
- MALEKUTI, A. y GIFFORD, G.F. (1978): Natural vegetation as a source of diffuse salt within the Colorado River Basin. *Water Res. Bulletin*, 14, 195-205.
- MALIK, R.S., BUTTER, B.S., ANLAUF, R. y RICHTER, J. (1987): Water penetration into soils with different textures and initial moisture contents. *Soil Science*, 144 (6) 389-393.
- MANNERING, J.V., MEYER, L.D. y JOHNSON, C.B. (1966): Infiltration and erosion as affected by minimum tillage (*Zea mays* L.). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 101-105.
- MARCO SEGURA, J. y REYES NADAL, M. (1986): *Hidrología*. Universidad Politécnica de Valencia, SPUPV-86.182, València, 387 p.
- MARCO, J. (1989): La defensa integral frente a las crecidas en la comunidad valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 61-70.
- MARIEN, J.L. y VANDEWIELE, G.L. (1986): A point rainfall generator with internal storm structure. *Water Resources Research*, 22 (4) 475-482.
- MARSHALL, T.J. y STIRK, G.B. (1950): The effect of lateral movement of water in soil on infiltration measurements. *Aust. J. Agric. Res.*, 1, 253-265.
- MARSTON, D. (1982): A rainfall simulator for field determination of relative erosion potentials. *Journal of the Soil Conservation Service of N.S.W.*, 38, 31-39.
- MARSTON, D. (1978): The use of simulated rainfall in assessing the erodibility of various stubble management practices. *Proc. Conf. on Agr. Enger.*, Toowoomba, Australia.
- MARTINEZ, F. (1989): Modelización y diseño de redes de distribución de agua. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 377-401
- MARTINEZ, M., LANE, L.J. y FOGEL, M.M. (1979): Experimental investigation of soil detachment by raindrop impact. En *Proceedings of the rainfall simulator workshop*. USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979., 153-155.

- MATEU BELLES, J.F. (1982): *El norte del País Valenciano, geomorfología litoral y prelitoral*. Univesitat de València, 286 p.
- MATEU BELLES, J.F. (1984): El problema medioambiental de las aguas continentales. En *Geografía y Medio Ambiente*, M.O.P.U., Madrid, 133-182.
- MATEU BELLES, J.F. (1990): Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. *Boletín de la A.G.E.*, 10, 45-86.
- MAY, T. (1990): Vegetation development and surface runoff after fire in a catchment of Southern Spain. En GOLDAMMER, J.G. y JENKINS, M.J. (Eds): *Fire in ecosystems dynamics. Mediterranean and northern perspective*, SPB Academic Publishing, The Hague. 117-126.
- MAZURAK, A.O. y MOSHER, P.N. (1968): Detachment of soil particles in simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32, 716-719.
- MAZURAK, A.P., CHESNIN, L. y TIARKS, A.E. (1975): Detachment of soil aggregates by simulated rainfall from heavily manured soils in Eastern Nebraska. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39 (5) 732-736.
- McCALLA, T.M. (1944): Water drop method of determining stability of soil structure. *Soil Science*, 58, 117-121
- McGHIE, D.A. y POSNER, A.M. (1981): The effect of plant top material on the water repellence of fires sands and water repellent soils. *Aust. J. Agric. Res.*, 32, 609-620.
- McGREGOR, K.C., BENGSTON, R.L. y MUTCHLER, C.K. (1990): Surface and Incorporated Wheat Straw Effects on Interrill Runoff and Soil Erosion. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 33 (2) 469-474.
- McINTERY, D.S. (1958): Permeability measurements of soil crust by raindrop impact. *Soil Science*, 85, 185-189.
- McISAAC, G.F., MITCHELL, J.K. y HIRSCHI, M.C. (1990): Contour and Conservation Tillage for Corn and Soybeans in the Tama Silt Loam Soil. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 33 (5) 1541-1550.
- McISAAC, G.F., MITCHELL, J.K. y HIRSCHI, M.C. (1991): Runoff and Sediment Concentration from Conservation Tillage for Corn and Soybeans Under Simulated Rainfall. *ASAE Paper 88-2595*, 26 pp.
- McISAAC, G.F., MITCHELL, J.K., HIRSCHI, M.C. y EWING, L.K. (1991): Conservation and contour tillage for corn and soybeans in the Tama silt loam soil: the hydrologic response. *Soil and Tillage Research*, 19, 29-46.
- McNABB, D.H., GAWEDA, F. y FROEHLICH, H.A. (1989): Infiltration, Water Repellency, and Soil Moisture Content after Broadcast Burning a Forest Site in Southwest Oregon. *Journal of Soil and Water Conservation*, 44 (1) 87-90.
- McQUEEN, I.S. (1963): *Development of a hand portable rainfall-simulator infiltrometer*. U.S. Geol. Surv. Circ. 482, 16 p.
- MEEK, B.D., DeTAR, W.R., ROLPH, D., REHEL, E.R. y CARTER, L.M. (1990): Infiltration rates as affected by an Alfalfa and No-till cotton cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, 505-508.
- MEEK, B.D., REHEL, E.A., CARTER, L.M. y DeTAR, W.R. (1989): Changes in Infiltration Under Alfalfa as Influenced by Time and Wheel Traffic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (1) 238-241.
- MEEWING, R.O. (1969): Infiltration and soil erosion as influenced by vegetation and soil in northern Utah. *Journal of Range Management*, 23 (3) 185-188.
- MEIN, R.G. y LARSON, C.L. (1973): Modelling infiltration during a steady rain. *Water Resources Research*, 9, 384-394
- MEYER, L.D. (1960). Use of the rainulator for runoff plot research. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 4, 319-22.
- MEYER, L.D. (1965): Simulation of rainfall for soil erosion research. *Transactions of the ASAE*. 8, 63-65.

- MEYER, L.D. (1979a): Methods for attaining desired rainfall characteristics in rainfall simulators. *Proc. Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop*, Tucson, Ariz, USDA-SEA, Agric. Reviews and Manuals ARM-W-10, 35-44
- MEYER, L.D. (1979b): Current rainfall simulators and research activities. *Proc. Rainfall Simulator Workshop*, Tucson, Ariz, USDA-SEA, Agric. Reviews and Manuals ARM-W-10, 156-157.
- MEYER, L.D. (1985): Interrill erosion rates and sediment characteristics. En MEYER, L.D. (Ed.): *Soil Erosion and Conservation*, 167-177.
- MEYER, L.D. y HARMON, W.C. (1979): Rainfall simulator for evaluating erosion rates and sediment sizes for row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, 22 (1) 100-103.
- MEYER, L.D. y HARMON, W.C. (1984): Susceptibility of Agricultural Soils to Interrill Erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48 (5) 1152-1157.
- MEYER, L.D. y MCCUNE, D.L. (1958): Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering*, 39 (10) 644-648.
- MEYER, L.D. (1938): *An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and a study of the drop size, velocity, and kinetic energy of selected spray nozzle*. Purdue University Special Report. 81, 42 p.
- MEYER, L.D., BAUER, A. y HEIL, R.D. (1985): Experimental Approaches for Quantifying the Effect of Soil Erosion on Productivity. En FOLLET, R.F. y STEWART, B.A. (Eds.): *Soil erosion and Crop Productivity*, 213-234.
- MEYER, L.D., JOHNSON, C.B. y FOSTER, G.R. (1972): Stone and woodchip mulches for erosion control on construction sites. *Journal of Soil and Water conservation*, 27 (6) 264-269.
- MEYER, L.D., WISCHMEIER, W.H. y DANIEL, W.H. (1971): Erosion, Runoff and Revegetation of Denuded Construction Sites. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 14 (1) 138-141.
- MEYER, L.D. (1988): Rainfall simulators for soil conservation research. En LAL, R. (Ed.): *Soil Erosion Research Methods*, Soil and Water Conservation Society/International Society of Soil Science, 74-95.
- MICHIELS, P., HARTMANN, R. y DE STROOPER, E. (1989): Comparisons of the unsaturated hydraulic conductivity of a coarse-textured soil as determined in the field, in the laboratory, and with mathematical models: *Soil Science*, 147 (4) 299-304.
- MILLER, W.P. (1987): A solenoid-operated, variable intensity rainfall simulator. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 832-834.
- MILLER, W.P. y SCFRES, J. (1988): Effect of sodium nitrate and gypsum on infiltration and erosion of highly weathered soil. *Soil Science*, 145 (4) 304-309.
- MOEYERSONS, J. (1983): Measurement of Splash-Saltation fluxes under oblique rain. *Catena Supplement*, 4, 19-31.
- MOHAMMED, D. y KOHL, R.A. (1987): Infiltration response to kinetic energy. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 30 (1) 108-11.
- MOLDENHAUER, W. (1965): Procedure for studying soil characteristics to by using disturbed samples and simulated rainfall. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 8, 74-75.
- MOLINA, M.J. y SANROQUE, P. (1991): Incendios forestales y desertificación: una revisión en torno a la erosionabilidad del suelo. Seminario *Procesos de desertificación en condiciones ambientales mediterráneas*. U.I.M.P. Valencia, 27 p.
- MOLINA, M.J., GARCIA-FAYOS, P. y SANROQUE, P. (en prensa): Short-Term Changes on Aggregate Stability and Organic Matter Content after Forest Fires in a Calcareous Soil In Valencia (Spain). *Geoderma*.
- MONTALVO, T. (1989): Situación de los riesgos localizados, vias de actuación. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 185-202.
- MOONEY, H.A. y KUMMEROW, J. (1981): Phenological development of plants in Mediterranean-climate regions. En DI CASTRI, GOODAL and SPECHT, (Eds.): *Mediterranean-Type Shrublands*, Elsevier.
- MOORE, D.C. y SINGER, M.J. (1990): Crust formation effects on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 (4) 1117-1123.

- MOORE, I.D., HIRSCHI, M.C. y BARFIELD, B.J. (1983): Kentucky Rainfall Simulator. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 26 (4) 1085-1089.
- MOREL-SEYTOUX, H.J. (1983): Infiltration affected by air, seal, crust, ice and various sources of heterogeneity (specials problems). *Advances in infiltration, A.S.A.E.*, 132-146.
- MORENO, J.M. (1989): Los Ecosistemas Terrestres Mediterráneos y el Fuego. *Política Científica*, 18, 46-51.
- MORGAN, R.P.C. (1977): *Soil erosion in the United Kingdom: field studies in the Silsoe area, 1973-1975*. Nat. Coll. Agric. Engng. Silsoe Occasional Paper, 4.
- MORGAN, R.P.C. (1986): *Soil Erosion and Conservation*. Longman, New York, 298 p.
- MORIN, J. y BENYAMINI, Y (1977): Rainfall infiltration into bare soils. *Water Resources Research*, 13 (5) 813-817.
- MORIN, J. y CLUFF, C.B. (1980): Runoff calculation on semi-arid watershed using infiltration equations determined from the rotadisk rainulator. *Water Resources Research*, 16, 1085-1093.
- MORIN, J., BENYAMINI, Y. y MICHAELI, A. (1981): The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile. *Journal of Hydrology*, 52, 321-335.
- MORIN, J., GOLDBERG, D. y SEGNER I. (1967): A rainfall simulator with rotating disk. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 10, 74-79 p.
- MORIN, J., KEREN, R., BENJAMINI, Y., BEN-HUR, M. y SHAINBERG, I. (1989): Water infiltration as affected by soil crust and moisture profile. *Soil Science*, 148 (1) 53-59.
- MUKHTAR, S., BAKER, J.L., HORTON, R. y ERBACH, D.C. (1985): Soil Water Infiltration as Affected by the Use of the Paraplow. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 28 (6) 1811-1816.
- MULDER, G.J. (1988): Subsurface response to rainfall on a hillslope plot within the Zululand coastal zone. En DARDIS, G.F y MOON, B.P. (Eds.): *Geomorphological Studies in Southern Africa*, 445-455.
- MUNN, D.A., McLEAN, E.O., RAMIREZ, A. y LOGAN, T.J. (1973): Effect of soil, cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37, 428-431.
- MUNN, J.R. y HUNTINGTON, G.L. (1967a): A portable simulator for erodibility and infiltration measurements on rugged terrain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40 (4) 622-624.
- MUNN, J.R. y HUNTINGTON, G.L. (1967b): A portable simulator for erodibility and infiltration measurements on rugged terrain characteristics of sediment from agricultural soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47 (1) 107-111.
- MUSGRAVE, G.W. y HOLTAN, H.N. (1964): Infiltration. En CHOW, V.T. (Ed.): *Handbook of Applied Hydrology*, 244-258.
- MUTCHLER, C.H. y MOLDENHAUER, W.C. (1963): Applicator for laboratory rainfall simulator. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 6 (3) 220-222.
- MUTCHLER, C.K. MURPHREE, C.E. Jr. y MCGREGOR, K.C. (1983): Laboratory and Field Plots for Soil Erosion Studies. En R. LAL (Ed.): *Soil Erosion research Methods*.
- MUTCHLER, C.K. y HERSMEIER, L.F. (1965): A review of rainfall simulators. *Trans. Am. Soc. Agr. Engrs.*, 6, 220-222.
- MUTCHLER, C.K. y MCGREGOR, K.C. (1979): Geographical differences in rainfall. En *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 8-16.
- NAETH, M.A. (1988): *The impact of grazing on litter and hydrology in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta*. Ph. D. Thesis, University of Alberta, Edmonton.
- NAETH, M.A., CHANASYK, D.S. y BAILEY, A.W. (1991): Applicability of the Kostiakov equation to mixed prairie and fescue grassland of Alberta. *Journal of range Management*, 44 (1) 18-21.
- NAMMAH, H., LARSEN, F.E., McCOOL, D.K., FRITTS, R. y MOLNAU, M. (1986): Mt. St. Helens Volcanic ash: effect of incorporated and unincorporated ash of two particle sizes on runoff and erosion. *Agriculture, ecosystems and environment*, 15, 63-72.
- NASSIF, S.H. y WILSON, E.M. (1975): The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. *Hydrol. sci. Bull.*, 20, 539-553.

- NAVAS, A. (1988): *La Participación de los Yesos en la Salinización de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Ebro*. Tesis Doctoral inedita. Universidad de Zaragoza, 444 p.
- NAVAS, A. (1990): The effect of simulated runoff on the erosion of gypsiferous soil. *Land Degradation and Rehabilitation*, 2, 117-126.
- NAVAS, A., ALBERTO, F., MACHIN, J. y GALAN, J. (1990): Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. *Soil Technology*, 3, 385-397.
- NAVEH, Z. (1990a): The role of fire and its management in the conservation of mediterranean ecosystems and landscapes. *El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos*, UIMP. Valencia. 21 pp.
- NAVEH, Z. (1990b); Fire in the mediterranean - a landscape ecological perspective. In "Fire in ecosystems dynamics. En GOLDAMMER, J.G. y JENKINS, M.J. (Eds.): *Mediterranean and northern perspective*, 1-20.
- NEAL, J.H. (1938): *The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion*. Univ. of Missouri Agricultural Experiments Station Research Bulletin 280.
- NEFF, E.L. (1979): Simulator activities in Sidney, Montana. En *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, USDA-SEA, ARS-W-10/july 1979, 160-161.
- NEIBLING, W.H., FOSTER, G.R., NATTERMAN, R.A., NOWLIN, J.D. y HOLBERT, P.V. (1981): Laboratory and field testing of a programmable plot-sized rainfall simulator, *Proceedings. Erosion and sediment transport measurement. IAHS Publication 133*, 405-414.
- NEUMANN, H. (1960): El clima del sudoeste de España. *Estudios geográficos*, 171-209.
- NICHOLS, M.L. y SEXTON, H.D. (1932): A method of studying soil erosion. *Agricultural Engineering*, 13, 101-103.
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. y ERH, K.T. (1973): Spatial variability of field measured soil-water properties. *Hilgardia*, 42 (7) 215-259.
- NIELSEN, D.R., VAN GENUCHTEN, M.T. y BIGGAR, J.W.(1986): Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. *Water Resources Research*, 22 (9) 89s-108s.
- NISHITA, H., HAUG, R.M., HAMILTON, M. y ALEXANDER, G.V. (1970): Influence of soil heating on the growth and elemental composition of bean plants. *Soil Science*, 110, 61-70.
- OECHEL, W.C. (1990): Anticipated effects of elevated atmospheric CO₂ and global change on production, fire frequency, and water yield of mediterranean ecosystems. *El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos*, UIMP. Valencia. 44 p.
- OHTA, T. (1987): The movement of soil water and the seep flow in a forested slope. In S.-y.FOK (1987): *The proceedings of the international conference on infiltration development and application*, 6-9 January, 407-416.
- ONSTAD, C.A., RADKE, J.K. y YOUNG, R.A. (1981): An outdoor portable rainfall erosion laboratory. *IAHS Publication 133*, 415-422.
- ORTIGOSA, L.M. (1989a): Aportación al desarrollo diferencial de las repoblaciones forestales en relación con factores topográficos y geomorfológicos (La Rioja). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 15 (1-2) 55-65
- ORTIGOSA, L.M. (1989b): Microtopographic evolution and erosion on afforested mountain slopes. *Pirineos*, 133, 77-98.
- ORTIGOSA, L.M. (1990): Techniques de reboisement dans la croissance des masses forestières. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Oest*, 61 (2) 271-284.
- ORTIGOSA, L.M., GARCIA-RUIZ, J.M. y GIL PELEGRIN, E. (1990): Land reclamation by reforestation in the Central Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10 (3) 281-288.
- OSBORN, H.B. y SIMANTON, J.R. (1990): Hydrologic modeling of a treated rangeland watershed. *Journal of Range Management*, 43 (6) 474-481.
- PANNO, S.V., HERZOG, B.L., CARTWRIGHT, K., REHFELDT, K.R., KRAPAC, I.G. y HENSEL, B.R. (1991): Field-scale investigation of infiltration a compacted soil liner. *Groundwater*, 29 (6) 914-921.

- PARCKER, P.E. (1957): *Intermountain infiltrometer*. USDA Forest Service, Ogden, Utah., Intermont. Forest and Range Expt. Station, Misc. Publ., 14 p.
- PARCKER, R.S. y SCHUMM, S.A. (1982): Experimental study of drainage networks. En BRYAN, R.B. y YAIR, A. (Eds.): *Badland Geomorphology and Piping*, 153-168
- PARISI, V. (1979): *Ecología y Biología del suelo*. Blume, Barcelona, 169 p.
- PARR, J.F. y BERTRAND, A.R. (1960): Water infiltration in soils. *Adv Agr.*, 12, 311-363.
- PARSONS, A.J., ABRAHAMS, A.D. y LUK, S.G. (1990): Hydraulics of interrill overland flow on a semi-arid hillslope, Southern Arizona. *Journal of Hydrology*, 117, 255-273.
- PARSONS, A.J., ABRAHAMS, A.D. y LUK, S.H. (1991). Size characteristics of sediment in interrill overland flow on a semiarid hillslope, Southern Arizona. *Earth surface Processes and Landforms*, 16, 143-52.
- PAYA, J. (1991): Fases de incisión y estabilización en la cuenca del río Monnegre (Alicante). *VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario*, Valencia.
- PAYA, J. y CERDA, A. (1992): Cambios morfológicos y respuesta a la lluvia simulada de tres superficies de Badland, Petrer, Alacant. En *Actas de la 2ª Reunión Nacional de Geomorfología*, 161-170.
- PEARCE, A.J. (1990): Streamflow Generation Processes: An Austral View. *Water Resources Research*, 26 (12) 3037-3047.
- PEARCE, A.J., STEWARD, M.K. y SKLASH, M.G. (1986): Storm Runoff Generation in Humid Headwater Catchment, 1. Where Does the Water Come From?. *Water Resources Research*, 22 (8) 1263-1272.
- PENYARROJA FERRER, D. (1992): Precipitaciones a l'extrem oriental de les serres Bètiques. *Actes de II Congrés de la Marina Alta*, 583-590.
- PEREIRA, H.C. (1956): Structure in tropical soils. *Journal of Soil Science*, 7 (1) 68-74.
- PEREZ CUEVA, A.J. (1982): *Erosion acelerada antrópica*. Ins. Alfons el Magnanim, 110 p.
- PEREZ CUEVA, A.J. y RECÁTALA ROMERO, M.T. (1990): *Degradación de medios agrícolas de montaña por precipitaciones: el valle de ayora*. I.V.E.I. Diputación Provincial de Valencia, 83 pp.
- PEREZ-CHACON, E. y VABRE, J., (1988): Abandono agropastoril y recolonización vegetal: El papel de las espacios leñosas como indicadores del estadio de regeneración vegetal y de la edad de abandono (Haut Couserans - Pirineo Central Francés). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 14, 99-120 p.
- PETERSON, A.E. y BUBENZER, G.D. (1984): Intake rate - sprinkler infiltrometer. *En Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. Agron. Monograph*.
- PETERSON, R.J. (1977): *Laboratory simulation of soil erosion*. Tesis Doctoral no publicada, Colorado State Univ. 70 p.
- PETTS, G y FOSTER, I. (1985): *Rivers and Landscape*. Arnold, London, 274 p.
- PHILIP, J.R. (1957a): Theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83 (5) 345-357.
- PHILIP, J.R. (1957b): The theory of infiltration. 2. The profile of infinity. *Soil Science*, 83, 435-448.
- PHILIP, J.R. (1957c): The theory of infiltration: 3. Moisture profile and relation to experiments. *Soil Science*, 84, 163-178.
- PHILIP, J.R. (1957d): The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, 84, 257-264.
- PHILIP, J.R. (1987): The quasilinear analysis, the scattering analog and the other aspects of infiltration and seepage. En FOK, S.-Y. (Ed): *Infiltration Development and Application*, 1-27.
- PHILIP, J.R. (1991a): Hillslope infiltration: planar slopes. *Water Resources Research*, 27 (1) 109-17.
- PHILIP, J.R. (1991b). Hillslope infiltration: divergent and convergent slopes: *Water Resources Research*, 27 (6) 1035-40.

- PHILIP, J.R. (1991c): Infiltration and bownslope unsaturated flows in concave and convex topographies. *Water Resources Research*, 27 (6) 1041-1048.
- PIKUL, J.L. Jr., ZUZEL, J.F. y RAMIG, R.E. (1990): Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 17, 153-65.
- PINGOUD, K. (1982): A lumped-parameter model for infiltration. *Journal of Hydrology*, 57, 175-185.
- PIÑOL, J., LLEDO, M.J. y ESCARRE, A. (1991): Hydrological balance of two mediterranean forested catchments (Prades, Northeast, Spain). *Journal of Hydrological Science*, 36 (2) 97-107.
- PITTY, A.F. (1968): A simple device for the field measuremets of hillslopes. *Journal of Geology*, 76, 717-720.
- PLA SENTIS, I. (1978): Simuladores de lluvia para el estudio de la relaciones suelo-agua bajo agricultura de secano en los trópicos. *V Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*.
- PLA SENTIS, I. (1990): Salinización del suelo y desertificación. En *Procesos de desertificación en condiciones ambientales mediterráneas*, UIMP, 36 p
- POESEN, J. (1984): The influence of slope angle on infiltration rate and hortonian overland flow volume. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 49, 117-131.
- POESEN, J. (1985): Surface sealing on the loose Sediments: the role of texture, slope and position of stones in the top layer. En CALLEBAUT, D. GABRIELS, y DE BOODT, M. (Eds.): *Assessment of soil surface sealing and crusting*, 354-62.
- POESEN, J. (1986): Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 11, 1-10.
- POESEN, J. (1987): Transport of rock fragments by rill flow-a field study. *Catena Supplement*, 8, 35-54.
- POESEN, J. (1988): Surface sealing on sandy and loamy soils: some aspects of seal formation and the influence of sealing on water erosion subprocesses, *Quaterni di scienza del suolo*, 1, 9-19.
- POESEN, J. y BRYAN, R.B. (1989-90): Influence de la longuerur de pente sur le ruissellement: role de la formation de rigoles et de croutes de sedimentation. *Cah. ORSTOM, ser. Pedol.*, XXV, 1-2, 71-80.
- POESEN, J. y INGELMO-SANCHEZ, F. (1992). Runoff and sediment yiels from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena*, 19.
- POESEN, J. y LAVEE, H. (1991): Effects of Size and Incorporing of Synthetic Mulch on Runoff and Sediment Yield from Interrills in a Laboratory Rainfall. *Soil and Tillage Research*, 21, 209-223.
- POESEN, J. y TORRI, D. (1989). Mechanims governing incipient motion of ellipsoidal rock fragments in concentrated overland flow. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 14, 469-80.
- POESEN, J., INGELMO-SANCHEZ, F. y MUCHER, H. (1990): The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affectes by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 653-671.
- PONCE, S.L. (1975): *Examination of a nonpoint source loading function for the Mancos Shale wildlands of the Price River Basin, Utah*. Tesis Doctoral, Dep. of Civil and Environmental Engineering, Utah State University.
- PONCE, S.L. y HAWKINS, R.H. (1978): Salt pickup by overland flow in the Pice Rver Basin, Utah. *Water Resources Bulletin*, 14 (5) 1187-1200.
- PONCE, V.M. (1989): *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice-Hall, New Jersey, 640 p.
- PORTA, J. (1986): Granulometría por Sedimentación Discontinua. Método de la Pipeta. En *Técnicas y Experimentos en Edafología*, 97-128.
- POSS, R., PLEUVRET, C. y SARAAGONI, H. (1989-90): Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les terres de Barre (togo méridional). *Cah. ORSTOM. Sér. Pédol.*, vol. XXV, nº 4, 405-415.
- PRITCHETT, W. L. (1986): *Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. Ed. Limusa, México, 634 p.

- PROVE, B.G., LOCH, R.J., FOLEY, J.L., ANDERSON, V.J. y YOUNGER, D.R. (1990): Improvements in aggregation and infiltration characteristics of a Krasnozem under Maize with direct drill and stubble retention. *Aust. J. Soil Res.*, 28, 577-90.
- QUINN, R.D. (1990): The role of animals in the fire cycle of mediterranean-type ecosystems. *El papel del fuego en los ecosistemas mediterráneos*, UIMP. Valencia.
- QUIRK, J.L. y SCHOFIELD, R.K. (1985): The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.*, 6, (163-178).
- R.A.E. (1984): *Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua*.
- RADCLIFFE, D.E., WEST, L.T., WARE, G.O. y BRUCE, R.R. (1990): Infiltration in adjacent Cecil and Pacolet Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 (6) 1739-1743.
- RAGAN, R.M. (1968): An experimental investigation of partial area contribution. *IAHS Publication*, 76, 241-249.
- RAI, K.D., RANEY, W. A. y VANDERFORD, H. B. (1954): Some physical factors that influence soil erosion and the influence of aggregate size and stability on growth of tomatoes. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer. J.* 18 (2) 221-232.
- RAUWS, G. (1987): The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediments. *Catena Supplement*, 8, 107-118.
- RAWITS, E., MARGOLIN, M. y HILLEL, D.I. (1972): Un improved variable-intensity sprinkling infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36 (3) 533-535.
- RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L., SIMANTON, J.R. y HANSON, C.L. (1988): Prediction of soil cover and soil rock for rangeland infiltration. *Journal of Range Management*, 41 (4) 307-308.
- REEVES, M. y MILLER, E.E. (1975): Estimating infiltration for erratic rainfall. *Water Resources Research*, 11 (1) 102-110.
- RENARD, K.G. (1985): Rainfall simulators and USDA erosion research: history, perspective and future. En *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, SDA-USDE-SRM, January 14-15, 3-6.
- RICHARDS, L.A. (1931): Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, 1, 318-333.
- RICHTER, G. y KERTESZ, A. (1990): Seasonal variations of runoff rates from field plots in the Federal Republic of Germany and in Hungary during dry years. *IAHS Publication* nº 189, 161-168.
- RIEZEBOS, H.T. y SEYHAN, E. (1977): Essential conditions of rainfall simulation for laboratory water erosion experiments. *Earth surface processes*, 2, 185-190.
- RITTER, J.B. (en prensa): The Application of Field Infiltration Data to Hydrologic Model Parametrization: An Example from Drainage Basins Disturbed by Surface Mining. *Journal of Hydrology*.
- ROBINSON, M. (1986): Changes in Catchment Runoff Following Drainage and Afforestation. *Journal of Hydrology*, 86, 71-84.
- ROBINSON, M., GANNON, B. y SCHUCH, M. (1991): A comparison of the hydrology of moorland under natural conditions, agricultural use and forestry. *Hydrological Sciences*, 36 (6) 565-577.
- ROCHE, M. (1960): *Hydrologie de Surface*. ORSTOM, Paris, 430 p.
- RODRIGUEZ AIZPEOLEA, J. (1992): Un ejemplo de la Influencia del uso y abandono de bancales de fondo de canal en la evolución de Badlands (Petrer-Alacant). *Actas del II Congreso Nacional de Geomorfología*, 211-220.
- RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, J. (en preparación): Els bancals abandonats a la Marina Septentrional. Dinàmica geomòrfica i relacions amb la desertificació. Departament de Geografia, Universitat de València.
- RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, J. y LASANTA-MARTINEZ, T. (1992): Los bancales abandonados en la montaña mediterránea: una revisión bibliográfica. *Pirineos*, 139, 105-123.
- RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, J., (1992): Distribució espacial y evolució de l'agricultura a la Vall d'Ebo. *Actes III Congrés d'Estudis de la Marina Alta*, 545-553.

- RODRIGUEZ-AIZPEOLEA, J., PEREZ-BADIA, R. y CERDÀ-BOLINCHES, A. (1991): Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de Gallinera, Alicante. *Cuaderno y Geomorfología*, 5, 119-129.
- ROGERS, J.S., BARNETT, A.P. y COBB, C. (1964): An evaluation of factors affecting runoff and soil loss from simulation rainfall. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 7, 457.
- ROMERO DIAZ, M.A. (1986): Variaciones espaciales de infiltración y su relación con la textura de los suelos en el NE de la Provincia de Granada. *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España*, 121-125.
- ROMERO-DIAZ, M.A., MARTINEZ-FERNANDEZ, J., FRANCIS, C.F., LOPEZ BERMUDEZ, F. y FISHER, G.C. (1988). Variability of Overland Flow Erosion Rates in a Semi-Arid Mediterranean Environment Under Matorral Cover (Murcia, Spain). *Catena Supplement*, 13, 1-11.
- ROMKEMS, M.J.M. (1979): A rainfall simulator for small laboratory samples. *Proceedings of the rainfall simulator workshop*, Tucson, AZ. USDA-SEA ARM-W-10, 162.
- RÖMKENS, M.J.M., BAUMHARDT, R.L., PARLAGE, M.B., WHISLER, F.D., PARLAGE, J.-Y. y PRASAD, S.N. (1986): Rain-induced surface seals: their effect on ponding and infiltration. *Annales Geophysicae*, 4, B, 4, 417-424.
- ROMKENS, M.J.M., GLENN, L.F. y NELSON, D.W. (1975): A laboratory rainfall simulator for infiltration and soil detachment studies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39 (1) 158-160.
- ROMKENS, M.J.M., PRASAD, S.N. y WHISLER, F.D. (1990): Surface Sealing and Infiltration. En ANDERSON, M.G. y BURT, T.P. (Ed.): *Process Studies in Hillslope Hydrology*, 127-172.
- ROSSELLO, V.M. (1983): La formación de la riada del Júcar (20-21 octubre 1982) aguas arriba de Tous. *Estudios Geográficos*, 170-171, 171-186.
- ROTH, C.H. y PAVAN, M.A. (1991): Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, 48, 351-61.
- ROTH, C.H. VIEIRA, M.J. DERPSCH, R. MEYER, B. y FREDE, H.-G. (1987): Infiltrability of an oxisol in Parana, Brazil as influenced by different crop rotations. *J. Agronomy and Crop Science*, 159, 186-91.
- ROWE, P.B. (1940): *The construction, operation and use of the North Fork Infiltrometer*. U.S. Flood Control Coord. Comm., Misc. Publ., 1, Calif. Forest and Ra. Expt. Station, Misc. Publ., 1.
- ROY, G.B. y GHOSH, R.K. (1982): Infiltration rate at long times. *Soil Science*, 134 (6) 345-347.
- RUBIN, J. (1966): Theory of rainfall uptake by soils initially drier than their field capacity and its applications. *Water Resources Research*, 2, 739-794.
- RUBIN, J. y STEINHARDT, R. (1963): Soil water relations during rain infiltration: I. Theory. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27, 246-251.
- RUBIN, J., STEINHARDT, R. y REINER, P. (1964): Soil water relations during rain infiltration: 2. Moisture content profile during rain of low intensity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 1-5.
- RUBIO, J.L. (1987): Desertificación en la Comunidad Valenciana: antecedentes históricos y situación actual de la erosión. *Revista Valenciana d'Estudis Autònoms*, 7, 231-258.
- RUBIO, J.L. (1989): Agua y desertificación en la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 153-166.
- RUIZ FLAÑO, P. (1992): *La evolución geomorfológica de campos abandonados en áreas de Montaña: El ejemplo del valle de Aisa. Pirineo Aragones*. Tesis Doctoral inedita, Universidad de Zaragoza, 287 p.
- RUIZ-FLAÑO, P., GARCÍA-RUIZ, J.M., ORTIGOSA-IZQUIERDO, L.M. y LASANTA-MARTINEZ, T. (1991): La producción de sedimentos en suspensión en microambientes geomorfológicos de campos abandonados. En *Actas del XII Congreso Nacional de Geografía*, València, 69-76.
- SAHUQUILLO, A. (1989): Posibilidades de utilización y necesidades de gestión de las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 83-100.
- SAKURA, Y. y TANIGUCHI, M. (1983): Experiments of rain infiltration on characteristics of soil water movement using a soil column. *Geogr. Rev. Japan*, 56, 81-93.

- SALA, M. (1988): Slope runoff and sediment production in two mediterranean mountain environments. *Catena Supplement*, 12, 13-29.
- SALA, M. y CALVO, A. (1990): Response of four different mediterranean vegetation types to runoff and erosion. En THORNES, J.B. (Ed.): *Vegetation and Erosion: Process and Environments*, 347-62.
- SALA, M., BATALLA, R. y INBAR, M. (1990): Variaciones de la escorrentía fluvial en algunas cuencas de Cataluña y su relación con el incremento de la urbanización. *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 499-508.
- SALLAWAY, M.M., YULE, D.F., MAYER, D. y BURGER, P.W. (1990): Effects of Surface Management on the Hydrology of a Vertisol in Semi-arid Australia. *Soil and Tillage Research*, 15, 227-245.
- SANCHEZ, C.E. y WOOD, M.K. (1987): The relationship of soil surface roughness with hydrologic variables on natural and reclaimed range land in New Mexico. *Journal of Hydrology*, 94, 345-54.
- SANCHIS PASTOR, E. (1989): La calidad de las agua residuales y sus efectos sobre el medio ambiente. El caso de la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 465-486.
- SANCHIS, E. (1989): Evolución y situación actual del suministro de agua potable en la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 245-260.
- SANROQUE, P. y RUBIO, J.L. (1982): *El Suelo y los Incendios Forestales*. Diputación de Valencia, Valencia, 61 p.
- SANROQUE, P., RUBIO, J.L. y IZQUIERDO, L. (1988): Estudio mediante un simulador de lluvia del comportamiento de suelos de Valencia (España) frente a los procesos de Erosión por Escorrentía y Salpicadura. *Annales de Edafología y Agrobiología*, XLVII (9-10) 1253-1267.
- SANROQUE, P., RUBIO, J.L. y IZQUIERDO, L. (1990): Relationship among Erodibility, Parent Material and Soil Type in Areas of the Valencia Province (Spain). *Soil Technology*, 3 373-384.
- SANROQUE, P., RUBIO, J.L. y MANSANET, (1985): Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de zonas forestales de Valencia (España). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 22 (2) 131-147.
- SANROQUE, P., RUBIO, J.L. y MANSANET, J. (1989): Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de zonas forestales de Valencia (España). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 131-147.
- SANROQUE, P., RUBIO, J.L. y SANCHEZ, J. (1984): Simulador de lluvia para el estudio de la erosionabilidad del suelo en laboratorio. *I Congreso Español de Geología*, 1, 783-794.
- SANTAFE, J.M. (1989): Recursos y usos del agua en la Comunidad Valenciana. En CABRERA, E. y SAHUQUILLO, A. (Ed.): *El Agua en la Comunidad Valenciana*, 41-60.
- SAVABI, M.R. y GIFFORD, G.F. (1989): Effect of simulated canopy cover and animal disturbances on rill and interrill erosion. *Water Resources Bulletin*, 25 (4) 783-788.
- SAVAGE, S.M. (1974): Mechanisms of Fire-Induced Water Repellency in Soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 652-657.
- SAVAGE, S.M., OSBORN, J., LETEY, J. y HEATON, C. (1972): Substance Contributing to Fire-Induced Water Repellency in Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 674-78.
- SAVAT, J. (1978): L'hydraulique du ruissellement en nappe mince sur un loess nu et sous couverture stepique simulée au laboratoire. *Geo-Eco-Trop*, 1, 131-142.
- SAVAT, J. (1981): Work done by splash: laboratory experiments. *Earth Surfaces Processes and Landforms*, 6, 275-283.
- SCHMIDT, R.-G. (1983): Ein Regensimulator für Feldversuche. *Wasser und Boden*, 4, 179-182.
- SCHROEDER, S.A. (1987): Runoff Curve Number Estimations for Reshaped Fine-textured Spoils. *Reclamation and Revegetation Research*, 6, 129-136.
- SCHROEDER, S.A., FOSTER, G.R., MOLDENHAUER, W.C. y MANNERING, J.V. (1982): Hydrologic Conductivity of Soil as determined from Cumulative Runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 1267-1270.

- SCHUMM, A.S., MOSLEY, M.P. y WEAVER, W.E. (1986): *Experimental Fluvial Geomorphology*. John Wiley and Sons, 413.
- SCHUMM, S. A. (1964): Seasonal Variations of Erosion Rates and Processes on Hillslopes in Western Colorado. *Z. Geomorph. N.F.*, 5, 215-238.
- SCHUMM, S.A. y LUSBY, G.C. (1963): Seasonal variations of infiltration capacity and runoff on hillslopes in Western Colorado. *Journal of Geophysical Research*, 68, 3655-3666.
- SCOGING, H. (1982a): Runoff generation and sediment mobilisation by water. En THOMAS, D.S.G. (ED.): *Arid Zone Geomorphology*, 87-116.
- SCOGING, H. (1982b): Spatial variations in infiltration runoff and erosion on hillslopes in semi-arid Spain. In BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 89-112.
- SCOGING, H.M. y THORNES, J.B. (1980): Infiltration characteristics in a semiarid environment. *IAHS Publication*, 128, 159-168.
- SCOTT, D.F. y VAN WYCK, D.B. (1990): The Effects of Wildfire on Soil Wettability and Hydrological Behaviour of an Afforested Catchment. *Journal of Hydrology*, 121, 239-256.
- SCOTT, V.H. (1956): Relative infiltration rates of burned and unburned upland soils. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 37, 67-69.
- SDAO, G.; SIMONE, A. y VITTORINI, S. (1984): Osservazioni geomorfologiche su calanchi e biancane in Calabria. *Geogr.Fis. Diman. Quat.* 10-16.
- SEGINER, I. y MORIN, J. (1970): A model of surface crusting and infiltration of bare soils. *Water Resources Research*, 6, 629.
- SEGÖNÜL, K. (1987): Water Repellency in Macchia Soils and its Relation to Plant Species, Soil Properties and Fire. *Yayın Komisyonuna Sunulduğu Tarih*, A, 37 (2) 69-80.
- SEGURA BELTRAN, F.(1989): *Las ramblas valencianas: algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología*. Departamento de Geografía, Universitat de València, 229 p.
- SEGURA BELTRAN, F.(1990): *Morfología de las ramblas valencianas del sur: La rambla de les ovelles, Un caso típico*. Proyecto de investigación IVEI, Valencia, 71 p.
- SEIMENS, J.C. y OSCHWALD, W.R. (1978): Corn-soybeans tillage systems: erosion control, effects on crop production, cost. *Transactions of the ASAE.*, 21 (2) 293-302.
- SELBY, M.J. (1970): Design of a hand-portable rainfall simulating infiltrometer, with trial results from the Oturira catchment. *Journal of hydrology*, 9 (2) 117-132.
- SELBY, M.J. (1982): *Hillslopes, Materials and Processes*. Oxford University Press, 264 p.
- SELIM, H.M. (1975): Water flow through a multilayer stratified hillside. *Water Resources Research*, 11 (6) 949-957.
- SEVINK, J. (1988): Soil organic horizon of Mediterranean Forest soils in NE-Catalonia (Spain): their characteristics and significance for hillslope runoff, and effects of management and fire. En A.C. IMESON y M. SALA (eds.) *Geomorphic Processes in environments with strong seasonal contrasts*, CATENA, Supplement 12, 31-45.
- SEVINK, J., IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M. (1989): Humus Form Development and Hillslope Runoff, and the Effects of Fire and Management, under Mediterranean Forest in NE-Spain. *Catena*, 16, 461-475
- SEYFRIED, M.S. (1991): Infiltration patterns from simulated rainfall on semiarid rangeland soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 1726-1734.
- SHAINBERG, I., ROADES, J.D. y PRATHER, R.J. (1981): Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, (273-277).
- SHAINBERG, I., SINGER, M.J. y JANITZKY, P. (1987): Effect of Aluminium and Iron on Hydraulic Conductivity of Sanfy Loam Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 (5) 1283-1287.
- SHANAN, L. y SHICK, A. P. (1980): A hydrological model for the Negev desert highlands, effect of infiltration, runoff and ancient agriculture. *Hydrol. Sci. Bull.*, 25 (3), (269-282).
- SHARMA, M., GANDER, G. y HUNT, C. (1980): Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, 45, 101-122.

- SHARMA, M.L., BARRON, R.J.W. y FERNIE, M.S. (1987): Areal distribution on infiltration parameters and some soil physical properties in lateritic catchments. *Journal of hydrology*, 94, 109-127.
- SHARMA, M.L., BARRON, R.J.W. y WILLIAMSON, D.R. (1987): Soil water dynamics of lateritic catchments as affected by forest clearing for pasture. *Journal of hydrology*, 97, 26-46.
- SHARON, D. (1980): The distribution of hydrologically effective rainfall incident on sloping ground. *Journal of Hydrology*, 46, 165-188.
- SHARON, D., ADAR, E. y LIEBERMAN, G. (1983): Observation on the Differential Hydrological and/or Erosional Response of Opposite-Lying Slopes, as Related to Incident Rainfall. *Israel Journal of Earth-Science*, 32, 71-74.
- SHARON, D., MORIN, J. y MOSHE, Y. (1988): Micro-Topographical Variations of Rainfall Incident on Ridges of a Cultivated Field. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 31 (6) 1715-1722.
- SHAW, E.M. (1988): *Hydrology in Practice*. Chapman and Hall. London 539 pp.
- SHERMAN, L.K. (1932): Stream flow from rainfall by the unit-graph method. *Engin. News-Rec.*, 108, 501-505.
- SHICK, A.P. (1970): Desert floods. Interim results of observations in the Nahal Yael research watershed, Southern Israel, 1965-1970. *IAHS Publication* 96, 479-493.
- SHICK, A.P. (1977): A tentative sediment budget for an extremely arid watershed in Southern Negev. En DOEHRING, D.O. (Ed.): *Arid Geomorphology*, 139-163.
- SHICK, A. P. (1988): Hydrologic aspects of floods in extreme arid environments. *Flood Geomorphology*, John Wiley and Sons, 198-203.
- SHIRNER, D.S., ABNER, C.H. y MANN, L.K. (1977): *Rainfall simulation for environmental application*. Oak Ridge National Lab. Envi. Sci. Div. Publ. No. 1067.
- SILLIMAN, S.E. y WRIGHT, A.L. (1988): Stochastic analysis of paths of high hydraulic conductivity in porous media. *Water Resources Research*, 24 (11) 1901-1910.
- SIMANTON, J.R. (1991): Revegetation of Semiarid Rangelands: Problems, Procedures, and Probabilities. *Rangelands*, 13 (3) 129-132.
- SIMANTON, J.R. y RENARD, K.G. (1982): Seasonal change in infiltration and erosion from USLE plots in Southeastern Arizona. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, 37-46.
- SIMANTON, J.R., OSBORN, H.B. y RENARD, K.G. (1977): Effects of brush to grass conversion on the hydrology and erosion of a semiarid southwestern rangeland watershed. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* (7) 249-256.
- SIMANTON, J.R., WELTZ, M.A. y LARSEN, H.D. (1991): Rangeland experiments to parameterize the water erosion reduction project model: vegetation canopy cover effects. *Journal of Range Management*, 44 (3) 276-281.
- SIMMONS, I.G. (1989): *Changing the Face of the Earth: Culture, Environment, History*. Backwell, Cambridge, 487 p.
- SKLASH, M.G. y FARVOLDEN, R.N. (1979): The role of groundwater in storm runoff. *Journal of Hydrology*, 43, 45-65.
- SKLASH, M.G., STEWART, M.K. y PEARCE, A.J. (1986): Storm Runoff generation in Humid Headwater Catchments 2. A Case Study of Hillslope and Low-Order Stream Response. *Water Resources Research*, 2 (8) 1273-1282.
- SLACK, D.C. y LARSON, C.L. (1981): Modelling infiltration: the key process in water management, runoff and erosion. En LAL, R. y RUSSELL, E.W. (Eds.): *Tropical Agricultural Hydrology*, 433-450.
- SLONEKER, L.L., OLSON, T.C. y MOLDENHAUER, W.C. (1974): Water-Soil pressure during intermittent simulated rain application measured with a new rapid-response tensiometric technique. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 985-87.
- SMETTEM, K.R.J. (1987): Characterization of water entry into a soil with a contrasting textural class: spatial variability of infiltration parameters and influence of macroporosity. *Soil Science*, 144 (3) 167-174.

- SMETTEM, K.R.J. y COLLIS-GEORGE, N. (1985): The influence of cylindrical macropores on steady-state infiltration in a soil under pasture. *Journal of Hydrology*, 75, 107-114.
- SMITH; R.E. (1972): The infiltration envelope: results from a theoretical infiltrometer. *Journal of Hydrology*, 17, 1-21.
- SMITH, D.D. y WISCHMEIER, W.H. (1962): Rainfall erosion. *Advances in agronomy*, 14, 109-148.
- SMITH, H.J.C., LEVY, G.J. y SHAINBERG, I. (1990): Water-Droplet Energy and Soil Amendments: Effect on Infiltration and Erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 (4) 1084-1087.
- SMITH, R.E. (1979): Rainfall simulation as a research tool, simulation for infiltration studies. *Proc. of rainfall simulators workshop*, Tucson, AZ. USDA-SEA ARM-W-10, 79-81.
- SOLER. M. y SALA. M. (1990): La erosión producida tras un incendio en un encinar. *I Reunión Nacional de Geomorfología*, 669-76.
- SONI, P., NAITHANI, S. y MATHUR, H.N. (1985): Infiltration studies under different vegetation cover. *Indian Journal of Forestry*, 8 (3) 170-173.
- SORIANO-SOTO, M^a.D., CALVO-CASES, A., CERDA-BOLINCHES, A. y PAYA-SERRANO, J. (1993): Process interactions affected by regolith properties in a Badland catchment (Petrer, Alicante, Spain). Memorial Symposium Prof J. de PLOEY: "Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Changes", 22-26 march 1992, Leuven, Belgium.
- SOULIOS, G. (1984/1985): Infiltration efficace dans le karts hellenique. *Journal of Hydrology*, 75, 343-356.
- SPEIGHT, J.G. (1980): The role of topography in controlling throughflow generation: a discussion. *Earth surface Processes*, 5, 187-191.
- SPIHLHAUS, A. F. (1948): Drop size, intensity, and radar echo of rain. *Journal of metereology*, 5, 161-164.
- SPOSITO, G. (1986): The "physics" of soil water physics. *Water Resources Research*, 22 (9) 83s-88s.
- SPRINGER, E.P. y GIFFORD, G.F. (1980): Spatial variability of rangeland infiltration rates. *Water Resources Bulletin*, 16 (3) 550-552.
- STARR, J.L. (1990): Spatial and Temporal Variation of Poned Infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 3, 54, 629-636.
- STEENHUIS, T.S., RICHARD, T.L., PARLAGE, M.B., AUBRIME, S.O., GEOHRING, L.D. y PARLAGE, J.Y. (1988): Preferential flow influences on drainage of shallow sloping soils. *Agricultural Water Management*, 14, 137-151.
- STEICHEN J., HOOKER, M. y POWELL, D.M. (1987): Straw burning Reduces Infiltration in Winter Wheat. *Journal of Soil and Water Conservation*, 42 (5) 364-366.
- STEICHEN, J.M. (1984a): Field verification of runoff curve numbers for fallow rotations. *Soil and Water Conservation*, 38 (6) 496-99.
- STEICHEN, J.M. (1984b): Infiltration and random roughness of a tilled and untilled claypan soil. *Soil and Tillage Research*, 4, 251-62.
- STEINHARDT, R. y HILLEL, D.I. (1966): A portable low-intensity rain simulator for field and laboratory use. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 661-662.
- STOCKING, M. (1988): Assessing vegetative cover and management effects. *Soil Erosion Research Methods*, 163-185.
- STOECKLER, J.H. (1959): *Trampling by livestock drastically reduced infiltration rate of soil in open pine woods in south western Wisconsin*. Lake States Forest Expt. Station, Tech. note, 556.
- STONE, J.A. (1991): Core sampling technique for bulk density and porosity determination on a clay loam soil. *Soil and tillage research*, 21, 377-383.
- STRAHLER, A.N. (1984): *Geografía Física*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 767 p.
- SUMMERFIELD, M.A. (1991): *Global Geomorphology*. Logman Scientific and Technical, New York, 537 p.
- SWANSON, N.P. (1965): Rotating boom rainfall simulator. *Transactions of the ASAE*, 8 (1) 71-72.

- SWARTZENDRUBER, D y HILLEL, D. (1975): Infiltration and runoff for small field plots under constant intensity rainfall. *Water Resources Research*, 11, 455-451.
- SWARTZENDRUBER, D. y OLSON, T.C. (1961a): Model study of the double ring infiltrometer as affected by depth of wetting and particle size. *Soil Science*, 92, 219-225.
- SWARTZENDRUBER, D. y OLSON, T.C. (1961b): Sand model study of buffer effects in the double ring infiltrometer. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 25, 5-8.
- SWEETING, M.M. (1972): *Karts Landforms*. McMillan Press, London, 362 p.
- TAKAR, A.A., DOBROWOLSKI, J.P. y THUROW, T.L. (1990): Influence of grazing, vegetation life-form, and soil type on infiltration rates and interrill erosion on a Somali rangeland. *Journal of Range Management*, 43 (6) 486-490.
- TAYLOR, D.H. y BLAKE, G.R. (1982): The effect of Turfgrass Tacht on Water Infiltration Rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 616-619.
- TAYLOR, D.H., WILLIAMS, C.F. y NELSON, S.D. (1991): Measuring water infiltration rates of sports turf areas. *Agronomy Journal*, 83 (2) 427-429.
- THOMAS; G.W. y PHILLIPS, R.E. (1991): The transient instability of tensiometer readings during infiltration. *Soil Science*, 152 (3) 231-235.
- THORN, C.E. (1982): *Space and time in Geomorphology*. George Allen and Unwin, Londres, 379 p.
- THORNES, J.B. (1976): Semi-arid erosion systems: case studies from Spain". *Geogr. Papers*, nº 7, London School of Economics.
- THORNES, J.B. (1980): Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. En KIRKBY, M.J. y MORGAN, R.P.C. (Eds.): *Soil Erosion*, 129-182.
- THORNES, J.B. (1985): *The ecology of erosion*. *Geography*, 70 (3), 222-36.
- THORNES, J.B. (1988): Erosional equilibria under grazing. En BINTLIFF, J., DAVIDSON, D.. y GRANT, E. (Eds): *Conceptual Issues in Environmental Archaeology*, 193-210.
- THORNES, J.B. y GILMAN, P.J. (1980): Potencial and actual erosion around archeological sites in south east Spain. *Catena suppl.*, 4, 91-112.
- THUNHOLM, B., LUNDIN, L.-Ch. y LINDELL, S. (1989): Infiltration into a Frozen Heavy Clay Soil. *Nordic Hydrology*, 20, 153-166.
- THUROW, T.L., BLACKBURN, W.H. y TAYLOR, C.A. Jr. (1986): Hydrologic Characteristics of Vegetation types as Affected by Livestock Grazing Systems, Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range management*, 39 (6) 505-509.
- THUROW, T.L., BLACKBURN, W.H. y TAYLOR, C.A. Jr. (1988): Infiltration and Interrill erosion Response to Selected Livestock grazing Strategies, Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range management*, 41 (4) 296-302.
- TISDALL, A.L. (1951): Variability in soil moisture and infiltration on two Riverina soils. *Aus. Journ. Agric. Res.*, 2, 126-131.
- TOSELL, R.W., DICKINSON, W.T., RUDRA, R.P. y WALL, G.J. (1987): A Portable Rainfall Simulator. *Canadian Agricultural engineering*, 29 (2) 155-162.
- TRABOUD, L. (1981): Man and Fire: Impacts on Mediterranean Vegetation. In Di CASTRI, F., GOODALL, D. y SPECHT, R. (1981): *Ecosystems of The World* 11. Elsevier, 523-537.
- TRABOUD, L. (1990); Fire resistance of *Quercus Coccifera* L. Garrique. En GOLDAMMER, J.G. y JENKINS, M.J. (EdS.): *Fire in ecosystems dynamics. Mediterranean and northern perspective*, 21-32.
- TRUDGILL, S. (1985): *Limestone Geomorphology*. Longman, New York, 196pp.
- TSUKAMOTO, Y. y OHTA, T. (1988): Runoff Process on a Steep Forested Slope. *Journal of Hydrology*, 102, 165-178.
- TURNER, A. K. (1965): The simulation of rainfalls for studies in overland flow. *Journal of the Institution of Engineers*, 9-15.
- TURNER, A.K. y LANGLORD, K.A. (1969): A rainfall simulator and associated facilities for hydrologic studies. *J. Aust. Inst. Agr. Sciences*, 35 (2) 115-199.

- UBEDA, X.; SALA, M. y IMESON, A. (1990): Variaciones en la estabilidad y consistencia de un suelo forestal antes y después de ser sometido a un incendio. *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, 677-685.
- USDA-ARS (1982): *Proceedings of the workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands*. USDA, Agricultural Research Service, Agric. Reviews and Manuals, ARS-W-26 June 1982.
- USDA-SEA (1979): *Proceedings of the rainfall simulator workshop*. USDA, Science and Education Administration, Agricultural Reviews and Manuals. ARS-W-10/July 1979.
- USDA-USDE-SRM. (1985): *Proceedings of the rainfall simulator workshop. Erosion on rangelands, emerging technology and data base*. USDA-USDE-SRM, January 14-15, 68 p.
- VACHAUD, G., VAUCLIN, M., KHANJI, D. y WAKIL, M. (1973): Effects of air pressure on water flow in an unsaturated stratified vertical column of sand. *Water Resources Research*, 91 (1) 160-173.
- VAN LEAR, D.H., DOUGLASS, J.E., COX, S.K. y AUGSPURGER, M.K. (1985): Sediment and Nutrient Export in Runoff from Burned and Haversted Pine Watersheds in South Carolina Piedmont. *J. Environ. Qual.*, 14, (2) 169-74.
- VAN WYK, B.B. (1987): Some effects of afforestation on streamflow in Western Cape province, South Africa. *Water SA.*, 13 (1) 31-36.
- VELEZ, R. (1990): Los incendios Forestales en España. *Ecología, Fuera de Serie*, 1, 213-221.
- VITTORINI, S. (1977): Osservazioni sull'origine e sul ruolo di due forme di erosione nelle argille: calanchi e biancane. *Boll. della Società Geografica Italiana*, VI, 25-54.
- WARD, A., WELLS, L.G. y PHILLIPS, R.E. (1991a): Characterizing Unsaturated Hydraulic Conductivity of Western Kentucky Surface Mine Spoils and Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 (5) 847-854.
- WARD, A., WELLS, L.G. y PHILLIPS, R.E. (1991b): Infiltration Through Reconstructed Surface Mined Spoils and Soils. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 26 (3) 821-830 y 832.
- WARD, R. C. (1975): *Principles of hydrology*. McGraw-Hill Book Company, Maidenhead, 367.
- WARD, T.J. y BOLIN, S.B. (1989): *A study of rainfall simulators runoff and erosion processes, and nutrient yields on selected sites in Arizona and New Mexico*. Technical Completion Report, Project-1423672, New Mexico Water Resources Research Institute, 68 p.
- WARD, T.J., ASCE, J. KRAMES, S. y BOLTON, S. (en preparación): A Comparison of Runoff and Sediment Yields from Bare and Vegetated Plots Usin Rainfall Simulation.
- WARREN, S.D., BLACKBURN, W.H. y TAYLOR, C.A. (1986): Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. *Journal of Range Management*, 39 (6) 486-90.
- WARREN, S.D., THUROW, T.L., BLACKBURN, W.H. y GARZA, N.E. (1986): The Influence of Livestock Trampling under Intensive Rotation Grazing on Soil Hydrologic Characteristics. *Journal of Range Management*, 39 (6) 491-495.
- WEAVER, A. van B. (1991): The distribution of soil erosion as a function of slope aspect and parent material in Ciskei, Southern Africa. *Geojournal*, 23 (1) 29-34.
- WEIR, G.J. (1987): Steady infiltration from small shallow circular ponds. *Water Resources Research*, 23 (4), 733-736.
- WELLS, L.G., EVANS, A.D., MOORE, I.D. y PHILLIPS, R.E. (1986): Comparison of four infiltration models in characterizing infiltration through surface mine profiles. *TRANSACTIONS of the ASAE.*, 29 (3) 785-93.
- WELLS, S.G. y GUTIERREZ, A.A. (1982): Quaternary evolution of badlands in the south-eastern Colorado Plateau, USA. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 239-258.
- WELTZ, M. y WOOD, M.K. (1986): Short-duration grazing in central Mexico: effects on sediment production. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41 (4) 262-66.

- WELTZ, M., WOOD, M.K. y PARKER, E.E. (1989): Flash Grazing and Trampling: Effects on Infiltration Rates and Sediment Yield on a Selected New Mexico Range Site. *Journal of Arid Environments*, 16, 95-100
- WEYMAN, D.R. (1970): Throughflow on hillslopes and its relation to the stream hydrograph. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, 15 (3) 25-33.
- WEYMAN, D.R. (1975): *Runoff processes and streamflow modelling*. Oxford University Press, Bristol, 54 p.
- WHIPKEY, R.Z. (1965): Subsurface stormflow on forested slopes. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, 10 (2) 74-85.
- WHISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1958): Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 39, 285-291.
- WHITTOU, J. (1984): *Dictionary of Physical Geography*. Penguin, London, 591.
- WIEGAND, C.L., LYLES, L. y CARTER, D.L. (1966): Interspersed salt-affected and unaffected dryland soils of the lower Rio Grande valley: II. Occurrence of salinity in relation to infiltration rates and profile characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30, 106-109.
- WIERDA, A., VEEN, A.W.L. y HUTJES (1989): Infiltration at the Tai rain forest (Ivory Coast): Measurement and modelling. *Hydrological Processes*, 3, 371-382.
- WILCOCK, D.N. y ESSERY, C.I. (1984): Infiltration measurement in a small lowland catchment. *Journal of Hydrology*, 74, 191-202.
- WILCOX, B.P. y WOOD, M.K. (1988): Hydrologic Impact of Sheep Grazing on Steep Slope in Semiarid Rangeland. *Journal of Range Management*, 41 (4) 303-306.
- WILCOX, B.P., WOOD, M.K. y TROMBLE, J.M. (1988): Factors Influencing Infiltrability of Semiarid Mountain Slopes. *Journal of Range Management*, 41 (3) 197-206.
- WILCOX, B.P., WOOD, M.K., TROMBLE, J.T. and WARD, T.J. (1986): A hand-portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *Journal of Range Management*, 39 (4), 331-5.
- WILCOX, B.P., WOOD, M.K., TROMBLE, J.T. y WARD, T.J. (1986): A hand-portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes. *Journal of Range Management*, 39 (4), 331-335.
- WILD, M.R., KOPPI, A.J., MCKENZIE, D.C. y McBRATNEY, A.M. (1992): The effect of tillage and gypsum application on the macropore structure of an Australian Vertisol used for irrigated cotton. *Soil and Tillage Research*, 22, 55-71
- WILLIAMS, J. y BONELL, M. (1988): The influence of scale of measurement on the spatial and temporal variability of the Philip infiltration parameters- an experimental study in an Australian Savannah woodland. *Journal of hydrology*, 104, 33-51.
- WILM, H.G., (1943): The application and measurement of artificial rainfall on types FA and F infiltrometers. *Trans. Amer. Geophys. Union.*, 3, 480-484 .
- WILSON, B.N. y RICE, C.T. (1987): *Large-Scale Laboratory Apparatus for Erosion Studies*. ASAE Paper, 19 p.
- WILSON, B.N. y RICE, C.T. (1990): An indoor soil erosion research facility. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45 (6) 645-648.
- WILSON, G.V., JARDINE, P.M., LUXMOORE, R.J. y JONES, J.R. (1990): Hydrology of a Forested Hillslope during storm Events. *Geoderma*, 46, 119-138.
- WISCHMEIER, W. H. (1959): A rainfall erosion index for a universal loss equation. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 23, 246-249.
- WISCHMEIER, W. H. (1962): Rainfall erosion potencial. *Jour. Agric. Eng.* 43, 212-225.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion losses. *USDA Agricultural Handbook*, 537 p.
- WISE, S.M., GOLDBERG, P. y BRIMER, B. (1982): Long term denudation rates in the Zin-Havarim badlands, northern Negev, Israel. En BRYAN, R. y YAIR, A. (Eds.): *Badland geomorphology and piping*, 259- 278.

- WIT, K.E. (1967): *Apparatus for measuring hydraulic conductivity of undisturbed soil samples*. American Society for Testing and Material, Tech Publ. 417.
- WONNACOTT, T.H. y WONNACOTT, R.J. (1979): *Introducción a la Estadística*. Ed., Limusa, Mexico, 515 p.
- WOO, M.-K. y LUK, S.-H. (1990): Vegetation effects on soil and water losses on weathered granitic hillslopes, south China. *Physical Geography*, 11 (1) 1-16.
- WOOD, J.C., WOOD, M.K. y TROMBLE, J.M. (1987): Important factors influencing water infiltration and sediment production on arid lands in New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 12, 111-118.
- WOOD, M.K. (1980): Rangeland vegetation-hydrologic interactions. In TUALER, P.T. (Ed.): *Vegetation science applications for rangeland analysis for rangeland analysis and management*, 469-491.
- WOOD, M.K. (1987): Plot numbers required to determine infiltration rates and sediment production on rangelands in south central New Mexico. *Journal of Range Management*, 40 (3), 259-63.
- WOOD, M.K. y BLACKBURN, W.H. (1981): Grazing systems: their influence on infiltration rates in the rolling plains of Texas. *Journal of Range Management*, 34 (4) 331-35.
- WOOD, M.K. y BLACKBURN, W.H. (1981): Sediment Production as Influenced by Livestock Grazing in the Texas Rolling Plains. *Journal of Range Management*, 34 (3) 228-231.
- WOOD, N.K., DONART, G.B. y WELTZ, M. (1986): Comparative Infiltration Rates and Sediment Production on Fertilized and Grazed Blue Grama Rangeland. *Journal of Range Management*, 39 (4) 371-374.
- WOOLHISER, D.A. y GOODRICH, D.C. (1988): Effect of Storm rainfall Intensity Patterns on Surface Runoff. *Journal of Hydrology*, 102, 335-354.
- YAIR, A. (1983): Hillslope hydrology water harvesting and areal distribution of some ancient agricultural systems in the northern Negev desert. *Journal of Arid Environments*, 6, 283-301.
- YAIR, A. (1990): Runoff generation in a sandy area-The Nizzana sands, western Negev, Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 597-609.
- YAIR, A. (1991): Spatial variability in runoff in semiarid and arid areas. En *Erosion del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, UIMP, 36 p.
- YAIR, A. y DANIN, A. (1980): Spatial variation in vegetation as related to the soil moisture regime over an arid limestone hillside, northern Negev, Israel. *Oecologia*, 47, 83-88.
- YAIR, A. y LAVEE, H. (1981): An investigation of source areas of sediment and sediment transport by overland flow along arid hillslopes. *Proceedings of the Symposium on Erosion and Sediment Transport Measurements*, IAHS Publication, 133, 433-446.
- YAIR, A. y LAVEE, H. (1985): Runoff generation in arid and semi-arid zones. En ANDERSON y BURT, T.P. (Eds.): *Hydrological Forecasting*, 183-220.
- YAIR, A., LAVEE, H., BRYAN, R.B. y ADAR, E. (1980a): Runoff and erosion processes and rates in the Zin Valley Badlands, northern Negev, Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 5, 205-225.
- YAIR, A., SHARON, D. y LAVEE, H. (1980b): Trends in runoff and erosion processes over an arid limestone hillside, Northern Negev, Israel. *Journal of Hydrological Sciences*, 25, (3) 243-55.
- YOO, K.H. (1987): Effects of crop and surface irrigation method on water intake rate of soil. *Agricultural Water Management*, 12, 305-10.
- YOON, Y.N. y WENZEL, H.G. (1971): Mechanics of sheet flow under simulated rainfall. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Journal of Hydraulics Division, 97. HY9 1367-1386.
- YOUNG, A. (1972): *Slopes*. Longman, 228 p.
- YOUNG, A. (1978): Slopes: 1970-1975. In EMBLETON, C., BRUNSDEN, D. y JONES, D.K.C. (Eds.): *Geomorphology: Present, Problems, and Future Prospects*, 73-83.
- YOUNG, R.A. y BURNELL, R.E. (1972): Prediction of runoff and erosion from natural rainfall using a rainfall simulator. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36 (5) 827-29.

- YOUNG, R.A. y ONSTAD, C.A. (1985): The Effect of Erosive Forces on Surface Seal Formation. In *International symposium on the assessment of soil surface sealing and crusting*, Ghent, Belgium, 72-80.
- YOUNGS, E.G. (1991): Infiltration measurements-a review. *Hydrological Processes*, 5, 309-320.
- ZALAZVYKY, D. y ROGOWSKI, A.S. (1969): Hydrologic and morphologic implications of anisotropy and infiltration in soil profile development. *Proc. soil Sci. Soc. Am.*, 33, 594-599.
- ZASLAVSKY, D. (1970): *Some aspects of watershed hydrology*. USDA Research Paper.
- ZEGELIN, S.J., y WHITE, I. (1982): Design for a fields sprinkler infitrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 1129-1133.
- ZUZEL, J.F., PIKUL, J.L. y RASMUNSEN, P.E. (1990): Tillage and fertilizer effects on water erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, 205-8.

APÉNDICE A

UN EJEMPLO DE FICHA DE CAMPO

FICHA CAMPO SIMULACION LLUVIA

Parcela:	
Fecha:	Hora:

DESCRIPCION DE LA LADERA

Localización:	
Posición Morfológica	
Litología	
Suelo:	
Exposición (°E):	Pendiente (°):
Altitud:	

DESCRIPCION DE LA PARCELA

Superficie (m ²)	
Exposición (°E):	Pendiente (°):
Rociedad (%):	
Profundidad suelo (cm):	
Pedregosidad (%):	
- Posición:	
- Tamaño:	
- Distribución:	
Microrelieve:	
Costra superficial:	
Grietas:	
Rills:	
Pináculos:	
Pipes:	
Mov. Masa:	
Altura Vegetación:	
Plantas:	Cubierta (%):
Líquenes:	Cubierta (%):
Musgos:	Cubierta (%):
Hojarasca:	Cubierta (%):
Muestras de suelo:	

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN:

Intensidad lluvia (mm h ⁻¹):	
Encharcami. (min). Inicial:	Def.:
Grietas cerrando:	Cerradas:
Escorr. (min):	Rills:
-	Superficie:
-	Salida:
Fin lluvia (min):	
Fin escorr (min):	(ml):

Autores:

T1	T2	ESCORR ml	SEDIMENT g	CE μS
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
	32			
	33			
	34			
	35			
	36			
	37			
	38			
	39			
	40			
	41			
	42			
	43			
	44			
	45			
	46			
	47			
	48			
	49			
	50			
	51			
	52			
	53			
	54			
	55			
	56			
	57			
	58			
	59			

APÉNDICE B

DISTRIBUCIÓN E INTENSIDAD DE LA LLUVIA SIMULADA

Distribución e intensidad de la lluvia simulada

B-1

Pluviometro	PRUEBAS					media	
	1	2	3	4	5		
A	1	50,93	48,81	50,22	44,56	48,10	48,52
	2	45,98	45,98	45,27	44,56	48,81	46,12
	3	45,27	45,98	47,39	46,69	48,81	46,83
	4	47,39	49,51	52,34	53,76	50,93	50,79
B	5	46,69	47,39	48,10	48,81	51,64	48,52
	6	49,51	48,81	48,10	47,39	51,64	49,09
	7	48,10	50,22	50,93	48,81	48,81	49,37
	8	48,81	48,81	49,51	51,64	50,22	49,80
	9	53,05	53,05	51,64	53,05	53,05	52,77
	10	53,76	53,76	50,93	53,76	53,76	53,19
	11	56,59	56,59	50,22	56,59	56,59	55,32
	12	58,00	58,00	58,00	58,00	58,00	58,00
	13	55,88	55,88	53,05	55,88	53,05	54,75
	14	56,59	56,59	53,76	56,59	53,76	55,46
	15	61,54	61,54	56,59	53,05	56,59	57,86
	16	58,00	58,00	58,00	53,76	58,00	57,15
C	17	58,71	58,71	53,05	56,59	53,05	56,02
	18	59,42	59,42	53,76	58,00	53,76	56,87
	19	60,13	60,13	56,59	55,88	56,59	57,86
	20	58,71	58,71	58,00	56,59	58,00	58,00
	21	58,00	58,00	53,05	53,05	53,05	55,03
	22	59,42	59,42	53,76	53,76	53,76	56,02
	23	60,13	60,13	56,59	56,59	56,59	58,00
	24	60,13	60,13	58,00	58,00	58,00	58,85
	25	57,30	57,30	53,05	55,88	53,05	55,32
	26	58,71	58,71	53,76	56,59	53,76	56,31
	27	52,34	52,34	56,59	53,05	56,59	54,18
	28	55,88	55,88	58,00	53,76	56,59	56,02
	29	56,59	56,59	53,05	56,59	58,00	56,16
	30	58,00	58,00	53,76	58,00	53,05	56,16
	31	60,13	60,13	56,59	55,88	53,76	57,30
	32	55,17	55,17	58,00	56,59	56,59	56,31
	33	60,83	56,59	53,05	53,05	58,00	56,31
	34	52,34	58,00	53,76	53,76	53,05	54,18
	35	53,76	53,05	56,59	56,59	53,76	54,75
	36	55,88	53,76	58,00	58,00	56,59	56,45
	37	59,42	56,59	53,05	55,88	56,59	56,31
	38	58,71	56,59	53,76	56,59	58,00	56,73
	39	58,00	58,00	56,59	53,05	53,05	55,74
	40	59,42	53,05	58,00	53,76	53,76	55,60
MEDIA	55,58	55,33	53,81	54,06	54,22	54,60	
CV	8,14	7,61	6,20	6,57	5,29	6,76	
MAX	61,54	61,54	58,00	58,00	58,00	59,42	
MIN	45,27	45,98	45,27	44,56	48,10	45,84	
MEDIAS							
CENTRO	58,89	56,06	55,35	54,82	55,35	56,09	
ANILLO 1	56,41	56,29	55,35	55,65	55,23	55,79	
ANILLO 2	54,61	54,73	52,79	53,14	53,52	53,76	

APÉNDICE C

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS

Características físicas y químicas de los suelos

C-1

	(0-2 cm)					(4-6 cm)				
	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)
AN01	2,30	10,10	36,55	53,34	9,02	2,00	20,27	37,09	42,64	9,69
AN02	0,56	7,76	28,53	63,70	7,46	0,23	14,17	23,26	62,56	7,87
AN03	0,56	6,93	40,35	52,71	3,16	0,50	4,72	36,92	38,35	5,90
AN04	0,25	8,63	32,22	58,15	3,28	0,13	14,67	22,99	62,33	1,82
AN04	0,25	8,63	32,22	58,15	3,28	0,40	15,41	16,92	67,67	41,60
AN06	4,26	20,87	28,46	50,67	9,75	2,05	5,11	30,33	61,59	2,62
AN07	3,65	15,98	31,17	50,85	5,64	1,40	16,44	29,15	56,44	2,13
BO00	0,87	64,25	15,55	20,20	5,40	0,67	62,43	12,90	24,67	2,60
BO01	8,64	67,77	20,65	12,58	7,00	4,06	63,12	22,11	14,77	4,50
BO02	3,10	81,88	10,21	7,91	7,10	2,19	76,77	11,52	6,60	4,50
BO03	6,12	69,71	14,98	15,31	5,50	2,94	66,20	14,01	17,66	7,10
BO04	6,40	72,31	16,14	11,55	6,30	2,30	72,93	15,75	13,32	5,50
BO05	3,12	66,89	13,45	19,66	4,13	1,89	64,92	14,85	20,23	3,24
BO06	2,13	62,45	13,24	24,31	3,20	1,82	63,53	15,63	20,84	4,24
BO07	3,61	68,33	19,44	15,23	3,19	1,82	60,34	15,39	24,27	5,15
BO08	4,92	67,03	12,64	20,33	3,06	2,91	62,03	17,21	20,76	2,76
BO09	5,13	71,37	17,34	11,29	3,70	2,91	68,15	16,29	15,16	4,01
BO10	5,30	68,03	17,48	14,49	3,72	2,61	62,09	15,21	22,70	3,28
BO11	8,60	68,56	12,78	18,66	2,87	6,26	69,76	10,65	19,59	2,01
BO12	4,87	69,32	14,23	16,45	5,32	2,13	13,54	29,90	0,00	2,10
BO13	2,01	54,24	20,32	25,44	5,32	2,32	15,87	27,88	0,00	4,60
BO14	6,65	72,32	15,03	14,65	2,43	4,34	74,54	6,94	18,50	2,54
GA01	0,65	54,77	17,13	28,10	2,14	0,23	52,65	18,20	29,15	2,31
GA10	0,54	58,98	17,65	23,46	5,62	0,15	56,95	18,54	24,51	2,65
GA20	2,13	55,65	19,35	25,00	3,21	1,01	52,65	18,65	28,70	2,56
GA30	2,16	54,03	17,92	26,05	3,01	1,03	51,92	14,56	33,52	1,06
GA40	4,49	54,78	16,12	54,24	3,60	2,43	51,15	18,10	12,88	3,28
GA50	2,60	57,25	17,25	25,50	2,87	2,31	46,25	17,21	37,60	3,28
GA60	6,32	54,26	18,56	27,18	1,24	2,95	51,28	17,59	29,13	1,14
GE01	2,50	68,35	20,52	11,13	6,70	2,15	67,72	20,66	11,62	3,60
GE02	2,99	65,54	21,66	12,80	21,50	3,12	69,45	24,42	6,15	11,80
GE03	3,21	75,69	17,65	6,66	7,30	2,43	71,81	19,17	9,02	5,70
GE04	3,20	50,10	21,88	28,02	7,10	0,92	56,49	19,79	23,72	5,40
GE05	4,23	63,93	20,50	15,57	8,00	3,45	23,98	31,72	54,30	16,30
GE06	8,14	55,15	31,37	13,48	10,30	4,15	57,31	23,28	19,41	9,00
GE07	3,10	48,27	36,17	15,56	14,16	2,60	42,10	29,32	28,58	9,60
GE40	3,94	65,02	21,90	12,08	4,82	1,03	50,19	21,71	28,10	3,21
GE41	4,65	66,43	20,06	12,51	3,54	1,54	55,04	20,13	24,83	2,65
GE42	1,42	54,32	23,43	22,25	4,56	0,87	50,58	20,65	28,77	4,32
GE47	8,14	63,45	20,91	15,64	3,02	3,21	27,87	21,43	51,70	2,43
GE48	6,78	55,55	26,54	18,91	3,20	2,10	57,43	17,12	25,55	2,12
GE49	4,32	60,32	24,21	15,47	3,24	1,20	51,43	20,23	28,34	2,54
GE78	4,23	60,18	21,88	18,02		1,35	56,49	19,79	23,72	

Características físicas y químicas de los suelos

C-2

	(0-2 cm)					(4-6 cm)				
	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)
MN01	0,20	13,38	51,32	35,30	67,03	0,15	9,65	52,36	62,01	62,31
MN02	1,69	31,98	40,57	27,44	65,32	0,50	30,26	43,26	36,48	64,26
MN03	1,23	14,16	68,60	17,24	66,32	0,65	12,32	65,36	22,32	62,35
MN04	0,40	10,17	67,70	22,13	62,59	0,30	10,03	57,80	32,17	60,21
MN05	1,05	25,66	57,41	16,93	70,62	0,62	20,36	59,32	20,32	72,33
MN06	2,01	13,88	63,56	18,56	57,01	0,56	10,23	65,39	24,38	59,21
MN07	0,92	18,53	61,04	20,43	70,18	0,62	16,36	62,34	21,30	65,32
MN08	6,95	20,01	65,32	14,67	67,03	2,31	15,36	65,21	19,43	65,94
MN09	1,20	27,62	59,44	12,94	67,52	0,65	26,31	52,44	21,25	65,91
MN10	0,40	20,36	45,34	33,90	69,24	0,10	19,36	51,34	30,30	64,25
MN11	0,15	19,01	62,86	18,13	73,50	0,09	12,34	63,26	24,40	69,27
MN12	0,20	7,50	58,73	33,77	63,59	0,12	6,59	64,32	29,09	56,37
MN13	0,20	4,72	77,85	17,43	66,32	0,13	4,69	72,10	23,21	59,38
MN14	1,34	14,82	56,64	28,54	61,32	0,61	16,54	54,39	31,07	56,01
MN15	2,30	10,68	73,62	15,45	59,32	0,32	11,68	71,22	17,10	56,47
MN16	1,15	20,20	66,21	13,59	68,32	0,65	15,36	62,32	22,32	62,35
MN17	4,32	27,36	51,47	21,28	62,30	1,37	25,31	50,36	24,33	60,32
MN18	0,21	11,23	66,34	22,43	65,32	0,13	11,02	68,53	20,45	60,32
PE01	7,10	64,60	25,20	10,20	43,28	6,40	57,30	29,50	13,20	41,84
PE02	7,06	67,30	23,60	9,00	39,20	6,71	63,00	31,10	16,90	34,11
PE03	6,45	58,76	19,32	21,92	32,67	5,98	50,87	21,93	27,20	31,21
PE04	2,15	28,89	35,09	35,01	33,15	3,62	31,87	43,26	24,87	31,57
PE05	7,80	63,60	29,50	7,00	27,80	7,41	66,10	21,56	12,34	30,75
PR01	0,51	25,05	47,40	27,55	65,73	0,21	16,15	40,46	43,78	62,25
PR02	3,20	29,26	51,76	18,98	76,40	1,01	28,89	49,99	23,12	73,30
PR03	0,30	74,03	18,63	7,33	79,80	0,57	41,44	34,22	24,34	67,00
PR04	0,29	64,16	25,44	10,40	76,20	1,68	68,14	17,80	14,06	74,30
PR05	0,25	30,20	46,94	22,86	87,30	0,45	29,07	49,80	21,13	71,90
PR06	0,26	18,68	49,80	31,52	67,50	0,51	15,23	50,99	33,78	67,90
PR07	0,25	24,03	48,81	27,16	72,45	0,36	19,01	44,74	36,25	69,36
PR08	0,26	18,90	49,48	31,62	76,30	0,16	9,36	56,31	34,33	70,60
PR09	3,12	40,12	34,51	25,37	70,75	0,25	44,17	34,87	20,66	69,85
PR10	0,20	26,80	43,19	30,01	72,00	0,22	6,99	42,49	50,52	71,34
PR11	0,23	8,36	51,23	40,41	73,29	0,24	6,98	53,29	39,73	74,21
PR12	0,34	26,39	46,38	27,23	71,36	0,21	15,31	48,34	36,35	71,29
PR13	0,82	9,26	41,02	49,72	68,40	0,67	7,48	41,69	50,83	67,50
PR14	0,42	8,17	46,95	44,88	66,00	0,45	7,57	42,31	50,12	65,30
PR15	0,23	7,69	58,32	33,99	68,32	0,15	5,96	54,32	39,72	66,95
PR16	3,01	25,82	43,73	30,45	65,25	0,25	15,86	45,43	38,71	61,94
PR17	1,35	55,02	29,35	15,63	72,40	0,54	53,09	32,94	13,97	70,70
PR18	0,54	7,39	60,29	32,32	55,61	0,21	6,32	59,36	34,32	60,36
PR19	0,31	5,36	61,32	33,32	63,26	0,10	5,21	63,52	31,27	59,36
PR20	0,87	17,07	59,48	23,45	74,00	0,49	27,23	45,33	25,44	78,60

Características físicas y químicas de los suelos

C-3

	(0-2 cm)					(4-6 cm)				
	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)	MO (%)	Ar (%)	Li (%)	Ac (%)	CO3Ca (%)
PR21	0,46	48,28	31,44	20,28	77,70	0,58	31,08	44,28	24,64	75,00
PR22	0,21	36,43	45,14	18,43	78,40	0,29	25,38	55,22	19,40	74,60
PR23	0,21	9,36	51,26	39,38	70,23	0,15	5,64	52,31	42,05	66,32
PR24	0,10	9,34	49,34	41,32	71,34	0,12	6,29	48,53	45,18	68,39
PR25	1,30	50,51	29,08	20,41	72,42	0,65	52,77	30,45	16,28	70,70
PR26	6,32	22,18	50,32	30,80	59,34	1,39	24,04	50,98	24,98	65,39
PR27	1,98	18,88	50,32	30,80	63,94	0,96	24,04	50,98	24,98	63,50
PR28	0,11	10,46	52,56	36,98	69,80	0,15	5,61	55,98	29,98	65,31
PR29	0,29	30,87	49,10	20,03	74,24	0,16	19,92	54,76	25,32	74,85
PR30	0,21	5,19	59,36	35,45	61,30	0,20	2,82	57,71	39,47	55,30
PR31	0,23	8,36	51,23	40,41	73,29	0,24	6,98	53,29	39,73	74,21
PR60	0,87	17,07	59,48	23,45	74,00	0,49	27,23	45,33	25,44	78,60
PR62	0,36	48,28	31,44	20,28	77,70	0,26	31,08	44,28	24,64	75,00
PU01	3,01	85,46	12,22	2,32	5,30	4,25	73,27	22,22	4,51	2,30
PU02	7,02	79,15	15,87	14,27	5,20	4,15	77,18	14,27	8,55	5,18
PU03	6,08	59,14	18,06	22,80	7,00	3,23	32,99	11,70	55,31	1,00
PU04	6,08	79,18	7,20	13,62	6,30					
PU05	2,75	77,46	19,15	3,40	2,99					
PU06	6,54	83,20	10,92	5,88	3,45	2,12	73,46	14,15	8,40	3,21
PU07	7,65	77,54	12,21	10,25	3,65	3,98	69,15	10,87	30,27	
TU01	8,65	10,25	37,39	52,36	2,36	3,52	5,36	35,67	58,97	4,35
TU02	5,84	12,30	35,09	52,61	1,26	3,24	10,26	32,39	57,35	3,48
TU03	5,36	12,23	31,45	56,32	1,94	2,94	11,65	29,10	59,25	2,54
TU04	0,24	24,36	32,65	42,99	35,62	0,10	28,35	34,26	37,39	42,35

Contenido en materia orgánica (%):											
	(0-2)	(2-4)		(0-2)	(2-4)		(0-2)	(2-4)		(0-2)	(2-4)
AN10	0,61	0,12	GE18	1,20	0,63	GE81	4,62	1,95	PR63	0,46	
AN11	2,36	1,35	GE19	1,30	0,95	GE82	6,32	1,29	PR64	0,65	0,23
AN12	0,46	0,12	GE20	1,04	0,64	GE83	6,28	2,34	PR71	0,10	0,10
AN13	0,42	0,31	GE21	1,56	0,94	GE84	5,61	1,86	PR72	0,10	0,10
AN14	1,03	0,21	GE22		0,43	GE85	4,38	2,94	PR77	0,34	0,21
AN15	0,34	0,18	GE23	1,02		GE86	2,65	1,02	PR95	0,25	0,13
AN16	1,09		GE24	1,59	0,54	GE87	0,35	0,21	PR96	0,31	0,26
AN17		0,28	GE25	2,59	1,27	GE88	1,65	0,26	PR97	0,21	0,09
AN18	0,99	0,21	GE26	2,01	1,09	GE89	1,96	0,45	PR98	0,31	0,26
AN20	1,32	0,54	GE27	0,98	1,52	MN19	0,20	0,12	PR99	0,23	0,16
AN21	0,26	0,15	GE28	5,36	2,31	MN20	2,01	1,06	PU10	8,97	
AN22	0,59	0,23	GE29	0,95	0,23	MN21	0,20	0,14	PU11	6,32	2,32
AN24	2,03	0,58	GE30	3,01	1,20	MN22	0,30	0,24	PU12	5,32	2,65
AN26	2,38	0,64	GE31	5,36	2,94	MN23	0,12	0,09	PU13	7,65	2,65
AN50	1,23	0,52	GE32	2,54	1,30	MN24	0,24	0,16	PU15	5,24	2,64
AN51	3,25	1,62	GE33	6,95	3,65	MN25	0,21	0,15	PU16	4,98	2,14
AN52	0,95	0,32	GE34	2,31	1,06	MN26	0,15	0,13	PU17	4,67	2,82
AN53	5,32	1,36	GE35	2,36	0,95	MN30	0,21	0,12	PU18	8,14	4,32
AN54	1,20	0,62	GE36	4,32	1,26	MN33	0,15	0,14	PU19	4,52	2,35
AN55	3,26	1,52	GE37	0,56	0,10	MN37	0,12	0,13	PU20	3,95	1,29
AN56	4,02	1,23	GE38	1,23	0,56	MN38	3,21	1,50	PU21	6,24	3,21
AN90	4,23	1,25	GE39	6,32	1,95	MN39	4,32	1,28	PU22	6,21	3,21
AN91	5,21	1,94	GE50	3,52	1,39	MN40	3,91	1,03	PU23	7,21	3,51
AN92	4,26	2,35	GE51	2,51	1,64	MN41	0,21	0,11	PU24	6,32	2,94
AN93	4,62	1,92	GE52	2,37	1,39	MN42	1,02	0,36	PU25	6,32	3,24
AN94	5,34	2,14	GE53	2,06	1,07	MN43	0,56	0,20	PU26	5,02	3,12
AN96	7,62	2,54	GE54	5,94	2,35	MN80	0,12	0,10	PU27	5,67	3,02
GA02	0,56	0,56	GE55	5,93	2,84	MN81	0,56	0,20	PU28	7,24	5,32
GA03	0,83	0,83	GE56	2,19	3,45	MN83	0,26	0,13	PU29	4,62	2,36
GA11	0,45	0,45	GE57	6,18	3,24	MN84	3,21	1,06	TU10	0,26	0,13
GA12	0,48	0,48	GE60	2,31	1,59	MN90	1,95	0,23	TU11	0,23	0,15
GA21	2,56	2,56	GE61	3,16	1,57	MN91	3,01	1,05	TU12	0,24	0,16
GA22	1,03	1,03	GE62	3,19	1,57	MN92	2,05	0,70	TU14	0,50	0,20
GA31	2,86	2,86	GE63	4,21	2,49	PR32	2,60	0,34	TU16	0,21	0,10
GA32	3,54	3,54	GE64	6,32	2,48	PR33	4,20	0,29	TU17	0,12	0,11
GA41	4,01	4,01	GE65	6,21	4,23	PR34	2,30	1,01	TU18	0,34	0,15
GA42	4,98	4,98	GE66	5,97	2,34	PR35	1,20	0,65	TU19	0,57	0,23
GA51	1,59	1,59	GE67	4,20	1,32	PR36	1,94	0,65	TU20	0,35	0,24
GA52	4,23	2,54	GE70	2,64	1,25	PR37	3,54	1,30	TU21	0,26	0,12
GA61		4,23	GE71	2,14	1,01	PR38	2,35	0,69	TU22	0,86	0,14
GA62	3,98	3,98	GE72	4,95	1,28	PR39	3,94	1,29	TU23	0,58	0,26
GE10	0,85	0,56	GE73	6,42	2,84	PR40	1,03	0,26	TU24	1,20	0,65
GE11	1,29	0,62	GE74	5,83	2,34	PR43	3,54	1,23	TU25	2,10	0,64
GE12	0,56	0,24	GE75	4,36	2,31	PR44	3,94	1,29	TU26	1,65	0,46
GE13	0,42	0,19	GE76	4,97	2,56	PR45	3,21	1,65	TU27	1,65	0,45
GE14	2,35	1,25	GE77	6,32	2,59	PR50	2,32	1,26	TU28	0,23	0,12
GE16	1,53	1,02	GE79	5,86	3,46	PR51	1,03	0,25	TU29	0,15	0,12
GE17	1,30	0,95	GE80	3,59	2,31	PR61	0,87				

(D) Densidad (gr/cm³) y (P) Porosidad (%)											
	D	P		D	P		D	P		D	P
AN01	0,98	62,31	GE02	1,32	49,23	MN07	1,21	53,46	PR40	1,00	61,54
AN02	1,09	58,08	GE03	1,29	50,38	MN08	1,06	59,23	PR41	1,06	59,23
AN03	1,13	56,54	GE04	1,41	45,77	MN09	1,26	51,54	PR42	1,10	57,69
AN04	1,16	55,38	GE05	1,01	61,15	MN10	1,29	50,38	PR43	1,06	59,23
AN04	1,02	60,77	GE06	0,85	67,31	MN11	1,15	55,77	PR44	0,89	65,77
AN06	0,91	65,00	GE07	0,89	65,77	MN12	1,31	49,62	PR45	1,06	59,23
AN07	0,99	61,92	GE10	1,42	45,38	MN13	1,19	54,23	PR50	1,23	52,69
AN08	1,19	54,23	GE11	1,13	56,54	MN14	1,09	58,08	PR51	1,32	49,23
AN10	1,02	60,77	GE12	1,33	48,85	MN15	0,97	62,69	PR60	1,54	40,77
AN11	0,97	62,69	GE13	1,19	54,23	MN16	1,09	58,08	PR61	1,49	42,69
AN12	1,12	56,92	GE14	1,06	59,23	MN17	1,02	60,77	PR62	1,23	52,69
AN13	1,06	59,23	GE15	1,06	59,23	MN18	1,28	50,77	PR63	1,26	51,54
AN14	1,02	60,77	GE16	1,02	60,77	MN19	1,52	41,54	PR64	1,43	45,00
AN15	1,09	58,08	GE17	1,13	56,54	MN20	1,04	60,00	PR71	1,45	44,23
AN16	1,01	61,15	GE18	1,04	60,00	MN21	1,10	57,69	PR72	1,52	41,54
AN17	1,02	60,77	GE19	1,05	59,62	MN22	1,32	49,23	PR73	1,45	44,23
AN18	1,09	58,08	GE20	0,98	62,31	MN23	1,54	40,77	PR74	1,45	44,23
AN19	1,08	58,46	GE21	1,09	58,08	MN24	1,65	36,54	PR75	1,63	37,31
AN20	1,09	58,08	GE22	1,02	60,77	MN25	1,03	60,38	PR76	1,54	40,77
AN21	1,03	60,38	GE23	1,09	58,08	MN26	1,53	41,15	PR77	1,55	40,38
AN22	1,06	59,23	GE24	1,03	60,38	MN28	1,47	43,46	PR78	1,45	44,23
AN23	1,01	61,15	GE25	1,01	61,15	MN30	1,45	44,23	PR95	1,50	42,31
AN24	0,99	61,92	GE26	1,06	59,23	MN31	1,36	47,69	PR96	1,43	45,00
AN25	1,00	61,54	GE27	1,19	54,23	MN32	1,62	37,69	PR97	1,61	38,08
AN26	1,05	59,62	GE28	0,98	62,31	MN33	1,51	41,92	PR98	1,42	45,38
AN27	1,03	60,38	GE29	1,32	49,23	MN34	1,49	42,69	PR99	1,53	41,15
AN28	0,99	61,92	GE30	0,97	62,69	MN35	1,53	41,15	PU01	1,01	61,15
AN29	0,98	62,31	GE31	1,06	59,23	MN36	1,54	40,77	PU02	0,99	61,92
AN30	0,96	63,08	GE32	1,15	55,77	MN37	1,32	49,23	PU03	1,06	59,23
AN50	1,05	59,62	GE33	1,04	60,00	MN38	1,02	60,77	PU04	1,10	57,69
AN51	0,98	62,31	GE34	1,29	50,38	MN39	1,11	57,31	PU05	1,15	55,77
AN52	1,07	58,85	GE35	1,21	53,46	MN40	1,03	60,38	PU06	0,95	63,46
AN53	0,98	62,15	GE36	1,25	51,92	MN41	1,47	43,46	PU07	0,93	64,23
AN54	0,99	61,92	GE37	1,42	45,38	MN42	1,13	56,54	PU10	1,02	60,77
AN55	0,94	63,85	GE38	1,16	55,38	MN43	1,21	53,46	PU11	0,99	61,92
AN56	0,95	63,46	GE39	1,05	59,62	MN80	1,23	52,69	PU12	0,98	62,31
AN57	1,04	60,00	GE40	1,02	60,77	MN81	1,32	49,23	PU13	1,04	60,00
AN58	0,97	62,69	GE41	0,96	63,08	MN82	1,18	54,62	PU14	1,02	60,77
AN59	0,93	64,23	GE42	1,12	56,92	MN83	1,27	51,15	PU15	1,06	59,23
AN60	1,04	60,00	GE47	0,92	64,62	MN84	1,00	61,54	PU16	0,99	61,92
AN90	1,00	61,54	GE48	0,98	62,31	MN90	1,01	61,15	PU17	1,02	60,77
AN91	0,90	65,38	GE49	1,07	58,85	MN91	1,00	61,54	PU18	1,03	60,38
AN92	0,92	64,62	GE50	1,10	57,69	MN92	1,01	61,15	PU19	0,98	62,31
AN93	0,85	67,31	GE51	1,11	57,31	MN93	1,09	58,08	PU20	0,98	62,31

(D) Densidad (gr/cm³) y (P) Porosidad (%)

	D	P		D	P		D	P		D	P
AN94	0,86	66,92	GE52	1,06	59,23	PE01	0,91	65,00	PU21	1,04	60,00
AN95	0,80	69,23	GE53	1,06	59,23	PE02	0,83	68,08	PU22	1,03	60,38
AN96	0,93	64,23	GE54	0,91	65,00	PE03	0,90	65,38	PU23	0,96	63,08
AN97	0,86	66,92	GE55	0,98	62,31	PE04	0,69	73,46	PU24	0,99	61,92
AN98	0,88	66,15	GE56	0,99	61,92	PE05	0,85	67,31	PU25	0,98	62,31
AN99	0,87	66,54	GE57	0,88	66,15	PR01	1,50	42,31	PU26	1,06	59,23
BO00	1,38	46,92	GE60	1,05	59,62	PR02	1,04	60,00	PU27	0,95	63,46
BO01	0,88	66,15	GE61	1,06	59,23	PR03	1,26	51,54	PU28	0,96	63,08
BO02	1,17	55,00	GE62	1,02	60,77	PR04	1,03	60,38	PU29	1,02	60,77
BO03	1,15	55,77	GE63	0,95	63,46	PR05	1,42	45,38	RE01	1,21	53,46
BO04	1,16	55,38	GE64	0,86	66,92	PR06	1,16	55,38	RE02	1,14	56,15
BO05	1,23	52,69	GE65	0,91	65,00	PR07	1,15	55,77	RE03	1,15	55,77
BO06	1,20	53,85	GE66	0,94	63,85	PR08	1,43	45,00	RE04	1,18	54,62
BO07	1,18	54,62	GE67	1,00	61,54	PR09	1,36	47,69	RE05	1,09	58,08
BO08	1,12	56,92	GE70	1,09	58,08	PR10	1,44	44,62	RE06	1,19	54,23
BO09	1,09	58,08	GE71	1,00	61,54	PR11	1,55	40,38	RE07	1,02	60,77
BO10	1,03	60,38	GE72	0,96	63,08	PR12	1,51	41,92	RE08	1,10	57,77
BO11	1,01	61,15	GE73	0,86	66,92	PR13	1,56	40,00	RE09	1,12	56,92
BO12	1,12	56,92	GE74	0,94	63,85	PR14	1,51	41,92	TU01	0,95	63,46
BO13	1,18	54,62	GE75	0,94	63,85	PR15	1,40	46,15	TU02	0,93	64,23
BO14	0,96	63,08	GE76	0,88	66,15	PR16	1,31	49,62	TU03	0,94	63,85
GA01	1,02	60,77	GE77	0,90	65,38	PR17	1,18	54,62	TU04	1,02	60,77
GA02	1,06	59,23	GE78	1,05	59,62	PR18	1,30	50,00	TU10	1,21	53,46
GA03	1,01	61,15	GE79	0,91	65,00	PR19	1,03	60,38	TU11	1,09	58,08
GA10	1,42	45,38	GE80	1,02	60,77	PR20	1,39	46,54	TU12	1,21	53,46
GA11	1,26	51,54	GE81	1,06	59,23	PR21	1,41	45,77	TU13	1,10	57,69
GA12	1,49	42,69	GE82	1,09	58,08	PR22	1,31	49,62	TU14	1,01	61,15
GA13	1,37	47,31	GE83	0,98	62,31	PR23	1,55	40,38	TU15	1,09	58,08
GA20	1,21	53,46	GE84	1,02	60,77	PR24	1,61	38,08	TU16	1,04	60,00
GA21	1,19	54,23	GE85	1,15	55,77	PR25	1,25	51,92	TU17	1,03	60,38
GA22	1,34	48,46	GE86	1,42	45,38	PR26	1,01	61,15	TU18	1,16	55,38
GA30	1,07	58,85	GE87	1,36	47,69	PR27	1,30	50,00	TU19	0,98	62,31
GA31	1,14	56,15	GE88	1,58	39,23	PR28	1,33	48,85	TU20	1,08	58,46
GA32	1,18	54,62	GE89	1,29	50,38	PR29	1,29	50,38	TU21	1,01	61,15
GA40	1,00	61,54	GE90	1,25	51,92	PR30	1,06	59,23	TU22	0,98	62,31
GA41	0,98	62,31	GE91	1,14	56,15	PR31	1,55	40,38	TU23	1,10	57,69
GA42	0,94	63,85	GE92	1,10	57,69	PR32	1,00	61,54	TU24	1,02	60,77
GA50	1,04	60,00	GE93	1,34	48,46	PR33	0,99	61,92	TU25	0,94	63,85
GA51	1,01	61,15	MN01	1,32	49,23	PR34	1,03	60,38	TU26	0,93	64,23
GA52	0,98	62,31	MN02	1,20	53,85	PR35	1,02	60,77	TU27	0,92	64,62
GA60	1,04	60,00	MN03	1,03	60,38	PR36	1,05	59,62	TU28	1,23	52,69
GA61	1,03	60,38	MN04	1,23	52,69	PR37	0,98	62,31	TU29	1,31	49,62
GA62	0,99	61,92	MN05	1,22	53,08	PR38	1,02	60,77			
GE01	1,36	47,69	MN06	1,03	60,38	PR39	1,00	61,54			

APÉNDICE D

DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS

Descripción de las Parcelas

D-1

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
AN01	0,26	164	7	0	0	35	35	10	350	9,17	100	15	5
AN02	0,24	185	20	0	0	15	15	5	75	1,78	30	9	15
AN03	0,28	180	30	0	0	10	10	3	30	0,84	0	6	20
AN04	0,22	178	24	0	0	7	7	1	7	0,15	0	2	8
AN05	0,20	350	22	0	90	75	165	15	1075	22,43	5	15	0
AN06	0,27	340	20	0	10	100	110	19	1900	50,88	10	25	10
AN07	0,16	320	25	0	0	80	80	15	1200	19,69	100	23	0
AN08	0,24	90	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	21
AN10	0,22	184	25	0	0	10	10	11	110	2,39	0	15	20
AN11	0,22	170	22	15	0	60	75	19	1140	25,37	0	26	30
AN12	0,22	146	22	0	0	2	2	2	4	0,09	0	10	10
AN13	0,17	206	44	0	0	0	0	0	0	0,00	0	15	2
AN14	0,22	182	24	0	0	20	20	15	300	6,58	0	19	25
AN15	0,22	190	22	0	0	3	3	9	27	0,60	0	15	40
AN16	0,20	122	32	2	3	20	25	35	700	14,25	1	25	45
AN17	0,23	113	15	0	0	20	20	32	640	14,84	0	24	23
AN18	0,22	185	25	0	0	3	3	19	57	1,24	0	24	45
AN19	0,23	190	19	0	0	15	15	19	285	6,47	0	15	15
AN20	0,23	222	16	40	0	0	40	0	0	0,00	2	15	35
AN21	0,23	164	18	5	2	0	7	0	0	0,00	3	9	20
AN22	0,22	205	24	60	3	40	103	40	1600	35,08	2	14	45
AN23	0,24	178	8	25	2	20	47	15	300	7,13	3	12	15
AN24	0,20	240	32	70	1	50	121	19	950	19,34	2	24	10
AN25	0,23	187	19	10	2	40	52	41	1640	37,22	2	25	10
AN26	0,23	214	16	3	1	1	5	3	3	0,07	0	12	5
AN27	0,22	244	23	60	2	0	62	0	0	0,00	2	12	40
AN28	0,23	227	19	2	2	5	9	25	125	2,84	1	12	30
AN29	0,22	219	22	35	2	45	82	18	810	18,02	4	19	10
AN30	0,22	214	20	35	0	60	95	52	3120	69,43	10	28	25
AN50	0,22	18	26	0	0	0	0	0	0	0,00	0	12	15
AN51	0,22	254	13	25	25	50	100	15	750	16,18	40	19	25
AN52	0,21	342	28	0	0	0	0	0	0	0,00	0	11	10
AN53	0,21	230	16	30	60	70	160	31	2170	45,98	50	19	20
AN54	0,22	352	22	10	12	35	57	18	630	14,02	1	36	30
AN55	0,18	332	42	0	12	60	72	17	1020	18,19	5	19	5
AN56	0,21	20	30	35	15	60	110	14	840	17,46	0	25	0
AN57	0,20	3	32	0	0	0	0	0	0	0,00	0	10	0
AN58	0,19	4	38	0	0	10	10	9	90	1,70	0	10	10
AN59	0,24	324	6	50	0	40	90	12	480	11,46	0	19	10
AN60	0,24	278	10	90	2	30	122	15	450	10,74	3	32	30
AN90	0,22	30	26	45	50	50	145	14	700	15,10	10	25	10
AN91	0,22	360	23	70	20	93	183	19	1767	38,12	34	31	5
AN92	0,22	15	21	10	25	80	115	19	1520	34,06	10	24	12
AN93	0,22	370	15	0	70	100	170	15	1500	33,61	40	32	4
AN94	0,22	340	25	0	60	100	160	19	1900	42,57	45	29	20

Descripción de las Parcelas

D-2

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
AN95	0,22	320	20	0	90	100	190	15	1500	33,61	100	31	6
AN96	0,22	320	45	0	60	100	160	12	1200	26,89	60	19	4
AN97	0,22	310	7	0	80	100	180	14	1400	31,37	50	21	9
AN98	0,22	345	12	0	90	100	190	35	3500	78,42	43	35	4
AN99	0,22	330	8	0	85	100	185	24	2400	53,77	19	24	5
BO0001	0,29	90	15	2	10	2	14	2	4	0,12	1	12	20
BO0002	0,29	90	15	0	15	7	22	7	49	1,43	8	12	20
BO0003	0,29	90	15	4	25	15	44	8	120	3,50	3	12	20
BO0004	0,29	90	15	3	20	15	38	10	150	4,38	2	12	20
BO0005	0,29	90	15	5	20	30	55	20	600	17,50	3	12	20
BO0006	0,29	90	15	3	35	40	78	33	1320	38,51	2	12	20
BO0007	0,29	90	15	2	30	48	80	45	2160	63,01	3	12	20
BO0101	0,25	65	10	1	5	50	56	5	250	6,16	2	25	30
BO0102	0,25	65	10	2	5	45	52	8	360	8,86	1	25	30
BO0103	0,25	65	10	2	12	70	84	22	1540	37,92	2	25	30
BO0104	0,25	65	10	2	5	85	92	23	1955	48,13	3	25	30
BO0105	0,25	65	10	2	5	95	102	30	2850	70,17	5	25	30
BO0106	0,25	65	10	2	10	98	110	31	3038	74,80	20	25	30
BO0107	0,25	65	10	2	25	100	127	32	3200	78,78	25	25	30
BO0201	0,28	317	4	0	0	5	5	1	5	0,14	6	15	10
BO0202	0,28	317	4	1	1	8	10	3	24	0,67	6	15	10
BO0203	0,28	317	4	1	1	12	14	6	72	2,02	3	15	10
BO0204	0,28	317	4	3	6	23	32	15	345	9,67	3	15	10
BO0205	0,28	317	4	1	1	21	23	22	462	12,95	3	15	10
BO0206	0,28	317	4	2	1	28	31	30	840	23,55	4	15	10
BO0207	0,28	317	4	2	3	45	50	33	1485	41,63	2	15	10
BO0301	0,21	343	42	0	0	25	25	5	125	2,68	5	50	8
BO0302	0,21	343	42	0	2	15	17	6	90	1,93	20	50	8
BO0303	0,21	343	42	0	1	25	26	10	250	5,35	2	50	8
BO0304	0,21	343	42	0	5	55	60	19	1045	22,37	5	50	8
BO0305	0,21	343	42	0	5	55	60	19	1045	22,37	5	50	8
BO0306	0,21	343	42	1	2	65	68	29	1885	40,34	6	50	8
BO0307	0,21	343	42	2	50	75	127	30	2250	48,16	2	50	8
BO0308	0,21	343	42	5	35	85	125	35	2975	63,67	10	50	8
BO0401	0,18	330	38	0	0	10	10	2	20	0,36	1	10	85
BO0402	0,18	330	38	0	2	18	20	5	90	1,62	1	10	85
BO0403	0,18	330	38	0	3	22	25	12	264	4,76	3	10	85
BO0404	0,18	330	38	0	10	30	40	15	450	8,12	5	10	85
BO0405	0,18	330	38	0	5	40	45	25	1000	18,05	3	10	85
BO0406	0,18	330	38	0	10	50	60	24	1200	21,65	9	10	85
BO0407	0,18	330	38	1	10	50	61	20	1000	18,05	9	10	85
BO0501	0,15	340	10	0	5	45	50	25	1125	16,40	5	25	60
BO0502	0,15	340	10	0	10	55	65	30	1650	24,05	5	25	60
BO0503	0,15	340	10	0	5	80	85	50	4000	58,30	5	25	60
BO0504	0,15	340	10	0	10	75	85	53	3975	57,94	12	25	60

Descripción de las Parcelas

D-3

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
BO0505	0,15	340	10	0	10	85	95	65	5525	80,53	15	25	60
BO0601	0,21	10	7	0	3	10	13	1	10	0,21	3	20	70
BO0602	0,21	10	7	0	15	8	23	3	24	0,51	8	20	70
BO0603	0,21	10	7	0	5	10	15	4	40	0,85	3	20	70
BO0604	0,21	10	7	0	25	12	37	6	72	1,54	5	20	70
BO0605	0,21	10	7	0	25	20	45	9	180	3,84	5	20	70
BO0701	0,19	330	18	0	2	40	42	10	400	7,72	3	15	80
BO0702	0,19	330	18	0	5	60	65	8	480	9,27	5	15	80
BO0703	0,19	330	18	0	5	55	60	12	660	12,74	15	15	80
BO0704	0,19	330	18	0	5	75	80	15	1125	21,72	15	15	0
BO0705	0,19	330	18	0	5	80	85	20	1600	31,19	15	15	0
BO0801	0,14	345	15	0	0	5	5	3	15	0,21	10	8	50
BO0802	0,14	345	15	0	5	15	20	6	90	1,28	5	8	50
BO0803	0,14	345	15	0	5	10	15	8	80	1,14	15	8	50
BO0804	0,14	345	15	0	20	30	50	12	360	5,11	10	8	50
BO0805	0,14	345	15	0	20	35	55	25	875	12,42	10	8	50
BO0901	0,14	355	29	1	10	50	61	9	450	6,38	30	16	20
BO0902	0,14	355	29	0	15	80	95	16	1280	18,14	15	16	20
BO0903	0,14	355	29	0	5	95	100	23	2185	30,96	30	16	20
BO0904	0,14	355	29	0	20	100	120	33	3300	46,76	40	16	20
BO0905	0,14	355	29	0	20	100	120	50	5000	70,84	40	16	20
BO1001	0,18	360	19	0	5	75	80	3	225	3,98	10	21	30
BO1002	0,18	360	19	0	30	98	128	5	490	8,66	15	21	30
BO1003	0,18	360	19	0	5	95	100	15	1425	25,20	20	21	30
BO1004	0,18	360	19	0	30	95	125	35	3325	58,79	25	21	30
BO1005	0,18	360	19	0	30	95	125	43	4085	72,23	25	21	30
BO1101	0,18	153	12	0	5	75	80	10	750	13,26	5	30	60
BO1102	0,24	153	12	0	35	98	133	25	2450	57,75	30	35	60
BO1103	0,24	153	12	0	25	100	125	40	4000	94,29	60	35	60
BO1104	0,24	153	12	0	25	100	125	46	4600	108,44	60	35	60
BO1105	0,24	153	12	0	25	100	125	55	5500	129,65	60	35	60
BO12	0,23	356	14	0	0	25	25	5	125	2,91	5	56	60
BO13	0,21	16	15	0	2	10	12	9	90	1,91	1	41	20
BO14	0,23	153	14	0	5	90	95	19	1710	39,99	10	59	30
GA01	0,23	180	0	0	0	0	0	0	0	0,00	25	100	3
GA02	0,23	180	0	0	0	2	2	1	2	0,05	0	100	2
GA02B	0,23	180	0	0	0	2	2	1	2	0,05	0	100	2
GA03	0,23	180	0	0	0	1	1	1	1	0,02	0	100	4
GA10	0,24	0	0	0	0	1	1	2	2	0,05	0	100	2
GA11	0,24	180	0	0	0	25	25	10	250	6,00	1	100	1
GA12	0,24	180	0	0	0	7	7	2	14	0,34	0	100	2
GA13	0,24	180	0	0	0	4	4	3	12	0,29	0	100	3
GA20	0,24	180	0	0	0	85	85	15	1275	30,60	4	100	3
GA21	0,24	180	0	0	0	90	90	8	720	17,28	0	100	2
GA22	0,24	180	3	0	0	20	20	5	100	2,40	0	100	40

Descripción de las Parcelas

D-4

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
GA22P	0,24	180	3	0	19	0	19	0	0	0,00	0	80	13
GA30	0,24	180	2	0	0	70	70	3	210	5,03	25	100	3
GA31	0,24	180	0	0	0	95	95	3	285	6,83	20	98	14
GA32	0,24	180	3	0	0	55	55	45	2475	59,32	0	100	8
GA40	0,24	180	0	0	0	100	100	58	5800	139,20	30	100	5
GA41	0,24	180	0	0	0	100	100	65	6500	156,00	25	100	5
GA42	0,24	180	0	0	0	75	75	72	5400	129,60	26	100	5
GA50	0,24	198	0	0	0	2	2	2	4	0,10	0	100	5
GA51	0,24	200	0	0	0	40	40	12	480	11,52	0	100	3
GA52	0,24	180	0	0	0	15	15	5	75	1,80	34	100	1
GA60	0,24	360	2	3	4	25	32	12	300	7,20	43	100	95
GA61	0,24	0	2	1	5	95	101	25	2375	56,97	53	100	15
GA62	0,24	0	0	0	0	98	98	42	4116	98,78	19	100	96
GE0101	0,24	150	30	0	0	5	5	3	15	0,36	0	12	40
GE0204	0,22	140	30	0	0	20	20	10	200	4,43	0	20	35
GE0301	0,25	148	10	0	0	20	20	15	300	7,41	0	35	50
GE0404	0,31	180	2	30	0	60	90	20	1200	37,42	20	1	10
GE0501	0,28	347	7	15	40	95	150	30	2850	78,64	60	50	40
GE0605	0,27	232	22	0	60	100	160	90	9000	243,66	90	60	0
GE0701	0,20	340	28	20	15	40	75	12	480	9,75	10	20	80
GE10	0,24	160	9	70	0	2	72	3	6	0,14	0	6	60
GE11	0,23	170	18	10	5	50	65	29	1450	33,10	0	19	20
GE12	0,22	186	22	25	0	25	50	12	300	6,68	12	25	85
GE13	0,22	0	24	10	5	40	55	22	880	19,29	0	17	60
GE14	0,22	170	21	20	20	90	130	60	5400	120,99	0	51	75
GE15	0,23	180	14	5	1	75	81	32	2400	55,89	3	42	0
GE16	0,22	170	22	0	10	73	83	33	2409	53,61	0	40	75
GE17	0,23	160	12	2	2	45	49	19	855	20,07	0	29	25
GE18	0,24	178	9	0	0	35	35	35	1225	29,04	1	24	12
GE18P	0,24	178	9	0	0	35	35	35	1225	29,04	2	24	15
GE19	0,27	143	19	2	4	59	65	52	3068	82,38	0	29	12
GE20	0,23	156	13	0	32	3	35	27	81	1,89	2	45	20
GE20P	0,23	156	13	0	32	3	35	27	81	1,89	0	45	80
GE21	0,24	120	7	10	0	70	80	27	1890	45,02	12	45	35
GE22	0,23	185	20	0	5	70	75	42	2940	66,30	15	35	40
GE23	0,22	155	22	0	2	60	62	36	2160	48,07	0	42	40
GE24	0,22	150	22	0	10	80	90	51	4080	90,79	0	32	90
GE25	0,22	154	22	0	2	90	92	38	3420	76,10	0	53	40
GE26	0,21	154	30	0	5	70	75	29	2030	42,19	10	32	50
GE27	0,23	135	18	0	5	45	50	30	1350	30,81	0	29	45
GE28	0,23	143	15	0	14	100	114	63	6300	143,80	32	45	30
GE29	0,22	180	24	10	2	2	14	4	8	0,18	4	16	92
GE30	0,22	143	21	0	30	100	130	19	1900	42,57	0	21	24
GE31	0,22	145	18	0	25	100	125	25	2500	56,01	32	29	12
GE32	0,22	150	22	0	1	80	81	15	1200	26,70	4	27	90

Descripción de las Parcelas

D-5

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
GE33	0,22	145	21	0	34	100	134	24	2400	53,41	8	21	23
GE34	0,23	176	18	0	0	35	35	10	350	7,99	12	14	45
GE35	0,22	155	22	0	10	60	70	19	1140	25,37	3	14	40
GE36	0,24	160	9	70	15	32	117	31	992	23,51	0	12	60
GE37	0,23	165	18	0	1	3	4	1	3	0,07	0	10	80
GE37P	0,23	165	18	0	0	3	3	0	0	0,00	0	10	10
GE38	0,20	160	32	0	10	75	85	19	1425	29,00	12	14	65
GE39	0,20	165	16	0	10	100	110	42	4200	85,48	15	21	16
GE40	0,23	185	12	0	5	85	90	32	2720	63,52	16	45	20
GE41	0,26	200	10	0	3	94	97	39	3666	96,56	12	54	12
GE42	0,23	176	18	0	0	30	30	12	360	8,22	2	32	45
GE47	0,23	340	21	0	10	100	110	53	5300	120,97	40	58	15
GE48	0,26	351	12	0	14	80	94	46	3680	96,38	24	41	30
GE49	0,23	346	18	0	9	22	31	12	264	6,03	10	21	40
GE50	0,23	345	20	0	25	35	60	14	490	11,05	10	19	20
GE51	0,23	352	12	0	9	15	24	14	210	4,93	0	31	30
GE52	0,23	346	14	0	9	22	31	12	264	6,15	5	31	90
GE52P	0,23	346	14	0	9	22	31	14	308	7,17	5	31	15
GE53	0,22	355	22	0	5	40	45	13	520	11,57	2	19	75
GE53P	0,22	355	22	0	5	40	45	12	480	10,68	2	19	10
GE54	0,22	360	10	0	25	100	125	39	3900	86,78	15	35	40
GE55	0,22	349	14	0	20	95	115	42	3990	88,79	15	52	50
GE56	0,24	353	10	0	12	80	92	39	3120	73,74	5	41	25
GE57	0,24	339	12	0	10	98	108	38	3724	88,02	15	45	30
GE60	0,23	360	12	0	80	20	100	15	300	7,04	2	29	12
GE61	0,24	350	10	0	15	15	30	34	510	12,05	0	29	25
GE61B	0,24	350	10	0	15	15	30	15	225	5,32	0	29	25
GE62	0,23	330	17	0	50	50	100	11	550	12,62	10	24	40
GE62B	0,23	330	17	0	50	50	100	34	1700	39,02	10	15	40
GE63	0,23	350	20	0	15	90	105	38	3420	77,13	13	54	45
GE64	0,23	345	21	0	10	100	110	52	5200	117,27	20	94	20
GE65	0,23	340	20	0	23	100	123	39	3900	87,96	25	46	80
GE66	0,23	349	29	0	34	100	134	41	4100	92,47	35	46	70
GE67	0,23	350	12	0	10	80	90	29	2320	54,46	10	52	35
GE70	0,24	360	8	0	0	21	21	10	210	4,99	1	35	10
GE70B	0,24	360	8	0	0	21	21	10	210	4,99	1	35	10
GE71	0,24	330	7	0	12	65	77	19	1235	29,42	40	42	45
GE71B	0,24	330	7	0	12	65	77	19	1235	29,42	40	42	45
GE72	0,24	339	12	0	12	95	107	34	3230	76,94	10	49	20
GE73	0,24	290	10	0	20	100	120	41	4100	97,67	15	56	30
GE74	0,24	340	16	0	10	90	100	39	3510	83,61	5	45	80
GE75	0,24	355	14	0	19	100	119	37	3700	88,14	10	48	40
GE76	0,24	350	10	0	5	100	105	49	4900	115,81	25	56	2
GE77	0,24	340	20	10	20	100	130	64	6400	151,27	25	54	50
GE78	0,23	180	14	30	0	50	80	15	750	17,47	20	29	10

Descripción de las Parcelas

D-6

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
GE79	0,23	340	15	0	10	100	110	58	5800	135,07	20	40	45
GE80	0,23	170	2	0	15	100	115	50	5000	116,44	10	100	10
GE81	0,23	345	1	0	12	100	112	52	5200	121,09	5	100	5
GE82	0,23	240	2	0	21	100	121	56	5600	130,41	12	100	10
GE83	0,23	355	2	0	5	100	105	15	1500	34,93	32	100	10
GE84	0,23	150	1	0	20	100	120	59	5900	137,39	30	100	20
GE85	0,23	156	2	0	0	95	95	49	4655	108,40	12	100	10
GE86	0,24	150	2	0	10	50	60	16	800	19,19	20	100	21
GE86B	0,24	150	2	0	10	50	60	16	800	19,19	20	100	21
GE87	0,24	150	2	0	0	25	25	29	725	17,39	0	100	8
GE88	0,24	150	2	0	0	10	10	52	520	12,47	1	100	8
GE89	0,24	150	2	0	0	25	25	19	475	11,39	5	100	20
GE90	0,17	150	30	0	0	2	2	3	6	0,10	24	14	5
GE91	0,20	260	1	0	0	25	25	6	150	3,00	0	19	5
GE92	0,22	170	21	0	0	4	4	7	28	0,63	10	25	30
GE93	0,24	10	9	0	0	22	22	3	66	1,56	0	100	11
MN01	0,21	196	22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	20
MN02	0,31	82	20	50	0	30	80	17	510	15,58	1	5	20
MN03	0,24	77	20	10	2	60	72	9	540	13,19	3	10	35
MN04	0,20	18	17	0	0	7	7	3	21	0,43	0	3	80
MN05	0,25	25	30	40	5	40	85	6	240	6,03	2	5	92
MN06	0,25	40	30	60	3	60	123	12	720	18,21	1	14	15
MN07	0,20	96	17	5	1	15	21	2	30	0,60	0	5	95
MN08	0,22	348	20	0	40	100	140	29	2900	64,04	35	15	8
MN09	0,23	308	1	90	0	9	99	3	27	0,62	0	10	65
MN10	0,20	268	3	70	2	2	74	1	1	0,02	1	8	75
MN11	0,23	150	11	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	2
MN12	0,14	90	20	0	0	3	3	1	2	0,02	0	2	10
MN13	0,19	50	14	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	15
MN14	0,12	52	25	20	5	50	75	9	450	5,59	3	10	20
MN15	0,15	20	26	15	10	60	85	25	1500	22,38	5	15	15
MN16	0,19	42	2	90	15	50	155	30	1500	29,08	2	35	2
MN17	0,15	20	21	20	20	90	130	40	3600	55,79	10	40	40
MN18	0,23	45	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	3
MN19	0,21	38	28	0	0	0	0	0	0	0,00	0	4	3
MN20	0,22	196	26	90	0	12	102	30	360	7,77	0	19	15
MN21	0,23	118	20	0	0	10	10	3	30	0,68	0	6	0
MN22	0,24	106	8	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	20
MN23	0,21	328	30	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	12
MN24	0,23	30	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	0
MN25	0,23	12	18	0	0	0	0	0	0	0,00	0	6	0
MN26	0,23	3	14	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	35
MN28	0,23	106	12	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	10
MN30	0,21	344	29	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	3
MN31	0,20	10	35	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	4

Descripción de las Parcelas

D-7

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
MN32	0,21	332	29	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	45
MN33	0,23	0	15	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	3
MN34	0,23	341	12	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	10
MN35	0,22	248	24	0	0	0	0	0	0	0,00	0	4	2
MN36	0,22	322	23	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	2
MN37	0,24	129	10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	7	4
MN38	0,23	353	15	80	0	30	110	24	720	16,69	12	19	30
MN39	0,23	28	14	50	0	65	115	38	2470	57,52	0	27	10
MN40	0,23	0	2	60	0	70	130	50	3500	81,50	12	46	4
MN41	0,24	339	9	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	2
MN42	0,23	353	19	10	0	65	75	12	780	17,70	1	8	55
MN43	0,22	34	26	5	0	15	20	14	210	4,53	0	15	80
MN80	0,22	294	24	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	55
MN81	0,21	11	28	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	2
MN82	0,21	90	31	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	10
MN83	0,20	49	33	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	40
MN84	0,20	226	1	5	0	0	5	0	0	0,00	0	18	30
MN90	0,23	218	17	80	0	2	82	2	4	0,09	0	5	56
MN91	0,23	232	14	70	0	75	145	0	0	0,00	0	33	9
MN92	0,23	182	19	75	5	40	120	31	1240	28,14	0	28	4
MN93	0,24	185	10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	4
PE0101	0,19	140	4	0	0	0	0	0	0	0,00	0	10	25
PE0102	0,19	140	4	0	0	4	4	7	28	0,52	2	10	70
PE0103	0,19	140	4	0	0	10	10	10	100	1,86	2	10	80
PE0104	0,19	140	4	0	0	12	12	10	120	2,23	2	10	90
PE0105	0,19	140	4	0	0	15	15	12	180	3,34	3	10	80
PE0201	0,18	95	10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	12	12
PE0202	0,18	95	10	0	0	3	3	1	3	0,05	0	12	60
PE0203	0,18	95	10	0	0	10	10	2	20	0,36	3	12	75
PE0204	0,18	95	10	0	2	11	13	4	44	0,80	4	12	85
PE0205	0,18	95	10	0	1	12	13	6	72	1,30	5	12	75
PE0301	0,24	105	15	0	0	0	0	0	0	0,00	0	15	0
PE0302	0,24	105	15	0	0	2	2	1	2	0,05	0	15	30
PE0303	0,24	105	15	0	0	2	2	6	12	0,29	0	15	30
PE0304	0,24	105	15	0	45	14	59	8	112	2,69	0	15	40
PE0305	0,24	105	15	0	55	25	80	10	250	6,01	3	15	40
PE0401	0,28	180	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0	100	0
PE0402	0,28	180	2	70	0	4	74	5	20	0,56	0	100	3
PE0403	0,28	180	2	70	0	12	82	15	180	5,07	0	100	2
PE0404	0,28	180	2	25	25	80	130	30	2400	67,64	0	100	2
PE0405	0,28	180	2	25	25	80	130	30	2400	67,64	0	100	2
PE0501	0,23	300	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	8	0
PE0502	0,23	300	20	0	0	3	3	1	3	0,07	1	8	55
PE0503	0,23	300	20	0	0	8	8	5	40	0,91	2	8	85
PE0504	0,23	300	20	0	0	10	10	7	70	1,59	2	8	80

Descripción de las Parcelas

D-8

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
PE0505	0,23	300	20	0	2	15	17	10	150	3,40	3	8	85
PR01	0,23	215	5	2	0	4	6	1	4	0,09	0	2	85
PR02	0,22	40	22	35	30	80	145	30	2400	53,41	15	20	50
PR03	0,21	113	32	10	2	8	20	3	24	0,51	1	10	85
PR04	0,23	95	20	0	0	0	0	25	0	0,00	1	15	80
PR05	0,22	130	45	0	0	1	1	1	1	0,01	2	1	5
PR06	0,21	286	28	5	0	15	20	9	135	2,79	1	8	80
PR07	0,14	294	32	5	0	5	10	3	15	0,21	0	2	100
PR08	0,20	280	35	0	0	0	0	2	0	0,00	0	3	4
PR09	0,24	155	4	90	5	30	125	5	150	3,61	1	15	30
PR10	0,19	143	37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	1	70
PR11	0,18	130	30	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	10
PR12	0,19	115	8	2	0	2	4	3	6	0,11	0	5	95
PR13	0,15	200	34	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	5
PR14	0,21	249	30	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	40
PR15	0,22	220	30	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	0
PR16	0,20	350	14	10	15	25	50	15	375	7,46	2	20	45
PR17	0,21	237	36	60	5	25	90	13	325	6,97	5	15	25
PR18	0,17	340	36	0	0	10	10	5	50	0,83	0	13	10
PR19	0,20	280	10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	10
PR20	0,29	280	2	0	0	12	12	1	12	0,35	0	25	0
PR21	0,35	270	2	0	0	90	90	50	4500	157,40	10	25	0
PR22	0,24	200	2	0	0	0	0	2	0	0,00	0	10	0
PR23	0,20	360	25	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	0
PR24	0,18	40	40	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	2
PR25	0,22	325	4	5	2	8	15	6	48	1,04	1	10	80
PR26	0,21	10	12	10	20	100	130	20	2000	42,65	10	25	20
PR27	0,22	322	3	40	5	60	105	9	540	11,97	0	10	15
PR28	0,17	300	40	0	0	0	0	9	0	0,00	0	3	5
PR29	0,23	18	35	0	0	20	20	5	100	2,26	0	3	70
PR30	0,21	180	27	0	0	0	0	5	0	0,00	0	5	0
PR31	0,12	300	35	0	0	0	0	0	0	0,00	0	4	10
PR32	0,21	40	30	20	5	80	105	20	1600	33,26	10	50	20
PR33	0,22	356	26	10	6	90	106	35	3150	67,95	13	60	10
PR34	0,20	342	34	0	0	55	55	25	1375	27,36	0	45	3
PR35	0,20	333	34	0	0	34	34	28	952	18,94	0	38	5
PR36	0,20	350	34	60	0	20	80	21	420	8,36	2	33	14
PR37	0,21	345	30	10	20	60	90	36	2160	44,89	5	47	7
PR38	0,20	276	35	3	23	90	116	23	2070	40,70	20	44	12
PR39	0,21	5	30	2	20	100	122	50	5000	103,92	25	61	5
PR40	0,21	345	27	45	21	20	86	33	660	14,11	0	35	12
PR41	0,20	145	23	15	0	20	35	13	260	5,27	3	26	65
PR42	0,22	354	22	5	5	50	60	15	750	16,69	12	34	50
PR43	0,20	360	35	2	60	96	158	26	2496	49,07	20	22	5
PR44	0,20	5	30	2	20	100	122	57	5700	112,06	25	45	5

Descripción de las Parcelas

D-9

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
PR45	0,22	360	22	0	80	97	177	26	2522	56,12	0	25	8
PR50	0,23	150	20	60	0	23	83	12	276	6,22	0	29	95
PR51	0,22	185	22	3	0	1	4	10	10	0,22	0	23	95
PR60	0,24	280	1	0	0	5	5	3	15	0,36	0	7	0
PR61	0,28	280	2	2	0	10	12	3	30	0,85	0	10	0
PR62	0,24	270	2	0	0	65	65	43	2795	67,04	10	24	0
PR63	0,24	270	1	2	0	54	56	36	1944	46,65	2	23	0
PR64	0,24	155	2	20	1	30	51	16	480	11,51	2	20	30
PR71	0,25	115	8	2	0	2	4	1	2	0,05	0	3	95
PR72	0,23	125	14	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	5
PR73	0,22	328	40	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	2
PR74	0,21	360	40	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	2
PR75	0,21	324	40	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	0
PR76	0,20	200	34	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	5
PR77	0,21	249	30	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	40
PR78	0,20	360	35	0	0	0	0	0	0	0,00	0	4	5
PR95	0,15	354	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0	10	0
PR96	0,24	5	2	0	0	4	4	1	4	0,10	0	12	0
PR97	0,28	10	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0	8	0
PR98	0,24	321	2	0	0	5	5	2	10	0,24	0	14	0
PR99	0,24	360	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0	12	2
PU01	0,17	20	22	20	40	0	60	90	0	0,00	10	100	20
PU02	0,17	340	4	0	90	100	190	85	8500	146,59	65	100	20
PU03	0,23	95	15	0	0	60	60	35	2100	49,29	20	75	100
PU04	0,19	100	18	0	0	25	25	20	500	9,27	50	55	70
PU05	0,20	105	20	35	0	10	45	10	100	1,96	15	42	90
PU06	0,31	20	25	5	10	20	35	20	400	12,47	10	50	30
PU07	0,29	38	25	5	40	100	145	18	1800	51,88	20	60	20
PU10	0,29	130	25	0	12	100	112	65	6500	187,33	25	59	45
PU11	0,29	114	19	0	15	90	105	42	3780	108,94	34	53	40
PU12	0,29	129	14	0	23	100	123	42	4200	121,05	45	65	30
PU13	0,29	100	10	0	23	100	123	43	4300	123,93	45	54	20
PU14	0,29	121	12	0	54	100	154	62	6200	178,69	67	45	70
PU15	0,29	300	4	0	54	100	154	74	7400	213,27	68	42	20
PU16	0,29	285	9	0	12	100	112	75	7500	216,15	45	53	32
PU17	0,29	320	10	0	13	100	113	79	7900	227,68	45	54	10
PU18	0,29	300	18	0	21	100	121	61	6100	175,81	43	100	20
PU19	0,29	310	25	0	12	90	102	51	4590	132,29	14	100	25
PU20	0,29	120	23	0	13	95	108	70	6650	191,66	15	80	32
PU21	0,29	113	21	0	10	100	110	42	4200	121,05	24	91	25
PU22	0,29	123	16	0	25	98	123	49	4802	138,40	50	100	28
PU23	0,29	100	14	0	25	100	125	49	4900	141,22	45	85	25
PU24	0,29	13	14	0	60	100	160	68	6800	195,98	55	49	70
PU25	0,29	320	5	0	50	100	150	48	4800	138,34	70	62	25
PU26	0,29	245	12	0	15	100	115	45	4500	129,69	55	19	32

Descripción de las Parcelas

D-10

	su m2	ex °	pen °	li %	mu %	pl %	vt %	av cm	Dv	Bi cm3	hj %	ps cm	pe %
PU27	0,29	320	12	0	15	100	115	43	4300	123,93	50	75	10
PU28	0,29	280	25	0	25	100	125	76	7600	219,04	50	58	25
PU29	0,29	290	20	0	15	90	105	48	4320	124,50	25	54	20
RE01	0,23	143	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	4	4
RE02	0,23	264	16	0	0	0	0	0	0	0,00	0	9	15
RE03	0,23	170	18	0	0	0	0	0	0	0,00	0	8	70
RE04	0,20	263	32	0	0	0	0	0	0	0,00	0	7	5
RE05	0,21	205	29	0	0	0	0	0	0	0,00	0	14	0
RE06	0,23	150	18	0	0	0	0	0	0	0,00	0	2	3
RE07	0,24	200	11	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	2
RE08	0,22	198	24	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	90
RE09	0,21	130	31	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	13
TU01	0,17	314	12	0	30	100	130	25	2500	42,79	15	29	5
TU02	0,18	326	23	0	26	80	106	25	2000	36,27	12	25	0
TU03	0,16	317	40	0	25	95	120	41	3895	61,20	15	23	8
TU04	0,14	314	33	0	0	10	10	2	20	0,28	0	5	98
TU10	0,24	202	5	0	0	15	15	3	45	1,08	0	3	90
TU11	0,24	237	11	0	0	90	90	3	270	6,36	0	14	85
TU12	0,23	170	13	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	13
TU13	0,24	290	10	0	0	10	10	3	30	0,71	0	100	50
TU14	0,24	290	10	0	0	20	20	15	300	7,09	10	100	25
TU15	0,23	69	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	10
TU16	0,18	45	43	0	0	0	0	0	0	0,00	0	15	20
TU17	0,24	110	2	10	20	20	50	14	280	6,72	1	100	2
TU18	0,23	135	15	0	0	6	6	3	18	0,42	1	10	40
TU19	0,24	135	5	5	5	70	80	10	700	16,74	0	100	25
TU20	0,24	120	9	0	0	15	15	9	135	3,20	0	100	20
TU21	0,24	120	7	0	0	90	90	42	3780	90,04	0	100	10
TU22	0,24	321	1	0	0	20	20	6	120	2,88	1	100	20
TU23	0,24	314	2	0	0	10	10	24	240	5,76	5	100	10
TU24	0,24	12	1	0	0	55	55	15	825	19,80	0	100	0
TU25	0,24	5	1	0	0	95	95	29	2755	66,11	0	100	20
TU26	0,24	15	0	0	0	95	95	35	3325	79,79	0	100	20
TU27	0,24	25	0	0	0	100	100	19	1900	45,59	0	100	16
TU28	0,23	32	12	0	0	0	0	0	0	0,00	0	5	1
TU29	0,23	60	20	0	0	0	0	0	0	0,00	0	3	1

APÉNDICE E

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS CON INFILTRÓMETRO DE CILINDRO

Resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro

E-1

	ifo	ia	ifc		ifo	ia	ifc
	mm/h	min-1	mm/h		mm/h	min-1	mm/h
AN0101	1589,60	0,04	487,92	AN19	901,77	0,45	154,84
AN0101	1589,60	0,04	487,92	AN20	794,14	0,32	112,98
AN0102	1586,42	0,20	494,42	AN21	1651,82	0,57	107,43
AN0102	1586,42	0,20	494,42	AN22	928,14	0,93	32,40
AN0103A	825,89	0,84	106,59	AN23	3765,15	0,81	213,99
AN0103B	1635,83	0,14	370,79	AN24	5429,87	0,99	155,12
AN0104	839,29	0,89	150,01	AN25	1436,84	0,50	93,81
AN0201	3156,37	2,15	186,72	AN26	1601,16	0,60	82,34
AN0202	1447,13	1,70	73,35	AN27	3771,65	0,81	196,33
AN0203A	1441,40	2,13	64,92	AN28	1956,55	0,72	70,33
AN0203B	559,90	1,44	55,08	AN29	5095,69	0,97	257,28
AN0204	2122,97	3,00	155,42	AN30	4063,83	0,33	182,77
AN0301	4105,83	1,55	384,73	AN50	78,98	0,69	8,89
AN0302	1109,36	1,80	49,79	AN51	171,85	0,77	8,68
AN0303A	111,15	0,03	123,28	AN52	78,20	0,65	7,28
AN0303B	277,42	0,47	36,61	AN53	4081,88	0,27	254,94
AN0304	1049,66	3,00	155,33	AN54	1450,51	1,83	30,65
AN0401	18640,51	2,26	429,00	AN55	15556,11	3,00	151,83
AN0402	2298,93	1,00	218,76	AN56	3238,41	0,68	324,06
AN0404	2536,69	3,00	274,36	AN57	596,52	2,00	32,26
AN0501	4611,28	0,40	633,61	AN58	1228,05	1,56	69,61
AN0502	3942,93	0,12	515,35	AN59	204,21	1,36	34,77
AN0503A	9294,20	0,98	617,26	AN60	825,14	0,80	112,19
AN0503B	1018,63	1,27	122,98	AN90	8896,81	0,40	418,16
AN0504	12120,01	2,17	155,19	AN91	7288,60	0,35	727,01
AN0601	3238,26	0,22	570,88	AN92	6440,55	0,36	677,14
AN0602	2991,84	0,15	638,33	AN93	6765,12	0,39	345,29
AN0603A	7767,86	0,59	748,92	AN94	7410,74	0,53	128,32
AN0603B	9410,44	1,01	666,73	AN95	13742,74	0,62	744,28
AN0604	4326,63	0,49	769,60	AN96	5728,38	0,37	493,12
AN0701	2212,33	0,03	583,47	AN97	11047,60	0,56	373,84
AN0702	2215,69	0,03	303,17	AN98	6828,45	0,45	624,57
AN0703A	9612,47	0,97	188,45	AN99	5714,78	0,29	291,03
AN0703B	10226,56	0,91	406,26	BO0001	2106,66	1,87	317,70
AN0704	844,41	0,32	135,12	BO0001	2106,66	1,87	317,70
AN08	6936,79	0,40	503,11	BO0101	1587,43	0,96	529,45
AN10	423,69	0,25	56,91	BO0102	2630,52	0,78	673,40
AN11	11569,35	2,76	118,53	BO0201	765,50	0,08	371,96
AN12	443,02	0,37	22,70	BO0202	2819,86	3,00	732,81
AN13	598,91	0,23	108,41	BO0301	3413,75	0,32	822,90
AN14	4766,50	0,59	427,54	BO0302	414,01	0,63	11,07
AN15	969,78	1,46	22,60	BO0401	1153,57	0,61	292,37
AN16	1135,14	1,36	46,95	BO0402	943,87	2,58	469,70
AN17	584,90	0,25	58,00	BO0501	2009,38	0,67	238,46

Resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro

E-2

	ifc		ia		ifc		ia		ifc	
	mm/h	min-1	mm/h	min-1	mm/h	min-1	mm/h	min-1	mm/h	min-1
AN18	705,78	0,85	38,94		BO0601	3523,60	0,47	256,53		
BO0701	1404,32	0,44	211,36		GE0400	437,43	0,85	24,69		
BO0801	2671,23	0,28	166,35		GE0401	672,96	0,91	126,17		
BO0901	3116,52	0,18	418,09		GE0402	672,96	0,91	126,17		
BO1001	4467,40	0,44	296,50		GE0403A	1141,99	1,43	75,73		
BO1101	7375,27	0,32	679,00		GE0403B	4212,80	2,55	29,24		
GA01	3378,75	1,94	541,75		GE0501	420,95	1,48	76,59		
GA02	3830,94	1,57	420,20		GE0501	420,95	1,48	76,59		
GA03	5241,38	0,86	486,02		GE0502	1049,21	1,32	119,33		
GA10	3476,23	3,00	235,82		GE0503A	4149,92	0,33	759,02		
GA11	519,94	3,00	80,80		GE0503B	4095,31	0,46	720,39		
GA12	1433,00	3,00	49,80		GE0504	1876,34	1,08	387,54		
GA13	1494,72	0,65	475,03		GE0600	1325,50	0,04	364,44		
GA20	338,89	0,10	219,17		GE0601	1204,96	0,04	353,36		
GA21	997,15	0,40	258,27		GE0602	3255,92	0,21	677,95		
GA22	5701,13	2,69	20,79		GE0603A	5353,87	0,34	478,50		
GA30	1202,17	0,78	252,77		GE0603B	15128,55	0,42	378,00		
GA31	2784,21	1,71	129,62		GE0604	2145,98	1,02	484,13		
GA32	23,98	0,18	54,76		GE0700	2736,65	1,46	573,15		
GA40	3965,00	1,06	134,75		GE0701	1616,17	0,84	390,32		
GA41	924,64	0,14	182,90		GE0702	1196,74	0,26	63,44		
GA42	13834,73	1,80	615,30		GE0703A	2017,69	0,42	161,70		
GA50	1183,05	2,52	34,80		GE0703B	4731,15	0,74	781,95		
GA51	1212,10	0,70	80,47		GE0704	193,35	0,38	62,05		
GA52	3702,47	0,63	305,64		GE10	1959,35	3,00	352,20		
GA60	1340,34	0,33	115,34		GE11	2024,49	0,10	403,14		
GA61	6407,26	0,97	335,14		GE12	2136,81	0,21	340,76		
GA62	4784,75	0,30	812,28		GE13	2018,36	0,25	682,03		
GE0100	1960,35	1,40	441,12		GE14	2562,20	1,63	439,14		
GE0101	1888,43	2,71	150,60		GE15	3716,35	0,09	1074,81		
GE0102	2723,67	0,25	152,26		GE16	14309,23	3,00	521,72		
GE0103A	1040,88	0,33	180,02		GE17	2015,16	0,23	385,92		
GE0103B	810,15	0,52	312,36		GE18	2760,58	2,24	710,27		
GE0104	566,23	0,52	135,22		GE19	761,48	0,03	644,15		
GE0200	1922,91	0,18	809,20		GE20	1811,81	3,00	239,59		
GE0201	2057,83	0,41	402,74		GE21	601,69	0,20	471,48		
GE0202	1562,60	0,84	457,86		GE22	3116,59	0,18	532,14		
GE0203A	6731,86	2,21	253,40		GE23	2203,50	0,68	729,66		
GE0203B	9032,16	2,80	228,72		GE24	1931,86	0,43	857,62		
GE0204	1869,49	0,08	310,83		GE25	3213,67	3,00	608,20		
GE0300	2569,25	0,34	1061,57		GE26	1679,46	0,08	537,40		
GE0301	3337,47	2,05	472,16		GE27	4016,80	0,14	912,75		
GE0302	945,19	0,09	493,06		GE28	2231,31	0,34	782,40		
GE0303A	1933,52	1,27	369,26		GE30	5643,67	0,94	185,70		

	ifo	ia	ifc		ifo	ia	ifc
	mm/h	min-1	mm/h		mm/h	min-1	mm/h
GE0303B	810,15	0,52	312,36	GE31	3699,02	0,57	216,52
GE0304	2167,98	0,20	631,90	GE32	4383,65	0,48	425,86
GE34	3466,47	0,25	499,31	MN0302	1670,80	0,08	356,02
GE35	4926,73	0,72	251,12	MN0303	1923,09	0,80	149,48
GE36	2760,58	2,24	710,27	MN0402	2071,73	0,17	379,22
GE37	829,86	0,70	34,13	MN0403	1429,77	0,54	199,75
GE38	1080,01	0,45	156,85	MN0502	939,48	0,11	317,28
GE39	1386,61	0,44	269,71	MN0503	1398,34	1,25	320,39
GE51	2265,70	0,21	208,34	MN0602	1572,42	1,08	382,89
GE52	2099,84	0,46	400,86	MN0603	1209,85	1,00	88,89
GE53	3134,90	0,57	242,66	MN0702	1565,60	0,07	230,61
GE54	5185,76	0,46	465,84	MN0703	2058,26	1,69	22,81
GE55	5146,89	0,45	646,86	MN0801	3784,30	0,55	392,40
GE56	6539,64	0,70	541,10	MN0802	660,80	0,07	356,66
GE57	6900,64	0,58	546,38	MN0803	2524,44	1,61	119,84
GE60	4095,55	0,41	524,94	MN0901	1936,82	0,14	327,91
GE61	585,27	0,13	155,00	MN0902	1730,28	0,14	459,09
GE62	10695,21	0,30	898,47	MN0903	1456,92	3,00	121,38
GE63	8730,67	0,80	504,22	MN1001	1119,08	0,12	444,36
GE64	7562,70	0,39	816,91	MN1002	2177,86	0,12	358,99
GE65	7347,69	0,34	851,95	MN1003	1280,00	2,30	21,12
GE66	9685,09	0,52	411,42	MN1101	526,32	0,06	247,79
GE67	5696,46	0,32	672,88	MN1102	1468,02	0,22	308,52
GE70	4187,02	0,68	212,90	MN1201	2814,75	1,60	415,13
GE71	3473,96	0,35	618,68	MN1202	2773,72	0,91	28,11
GE72	9191,38	0,43	741,68	MN1301	1307,23	1,26	47,74
GE73	5812,40	0,42	732,29	MN1303	73,23	0,04	30,65
GE74	4709,43	0,67	530,94	MN1401	2442,27	1,12	772,41
GE75	10087,13	0,50	991,71	MN1402	2179,21	0,17	330,44
GE76	10496,12	0,68	785,58	MN1403	817,98	0,17	164,64
GE77	7654,40	0,40	717,12	MN1501	2365,03	0,89	703,90
GE78	3274,04	0,22	618,10	MN1502	1926,50	0,46	16,38
GE79	1562,36	0,20	440,45	MN1503	2097,93	0,16	103,32
GE80	710,42	0,42	102,61	MN1603	1025,69	3,00	89,20
GE81	6356,94	0,32	246,92	MN1604	1764,90	1,55	155,11
GE82	799,43	0,54	29,73	MN1701	521,31	0,09	86,50
GE83	1515,67	1,12	65,03	MN1703	1675,39	1,09	65,99
GE84	891,61	0,40	102,22	MN1801	7062,14	2,17	470,95
GE85	1589,20	0,69	164,26	MN1802	1219,62	2,18	15,21
GE86	1557,68	0,51	112,22	MN19	336,57	0,71	10,81
GE87	3288,24	0,43	295,94	MN21	87,71	0,82	5,96
GE88	728,90	0,45	31,01	MN22	257,96	0,22	14,46
GE89	969,73	0,13	121,84	MN23	326,65	0,22	10,09
MN0102	706,50	0,51	251,62	MN24	145,28	0,53	13,34

Resultados de los experimentos con infiltrómetro de cilindro

E-4

	ifo	ia	ifc		ifo	ia	ifc
	mm/h	min-1	mm/h		mm/h	min-1	mm/h
MN0103	232,22	0,53	17,59	MN25	399,63	0,23	17,59
MN0202	847,13	0,38	193,52	MN26	61,34	0,30	10,62
MN0203	531,67	0,64	50,81	MN30	218,11	0,43	14,34
MN31	200,21	0,31	73,99	PR2201	70,00	0,22	13,96
MN32	218,11	0,43	14,34	PR2304	5046,01	0,84	7,09
MN34	147,95	0,55	11,40	PR2401	509,88	1,57	13,45
MN35	1339,98	1,35	75,61	PR2501	1627,71	0,78	232,12
MN36	691,46	0,26	84,98	PR2601	6442,31	0,69	553,50
MN37	2624,15	2,31	104,88	PR2701	1514,40	0,49	27,56
MN38	1877,80	1,20	98,48	PR2801	452,77	0,89	17,60
MN39	2817,54	0,43	579,72	PR2901	1160,80	1,58	23,30
MN40	8187,34	1,22	605,22	PR3001	2069,26	0,72	35,73
MN41	6810,96	0,37	866,40	PR32	8052,72	0,89	536,51
MN42	1537,59	0,47	97,85	PR33	6221,31	0,90	508,13
MN43	776,53	0,66	88,77	PR34	4838,91	0,66	441,49
MN82	363,24	0,33	9,74	PR35	3964,05	0,61	253,92
MN83	228,11	0,49	11,37	PR36	2340,02	0,73	442,20
MN90	715,97	0,34	147,97	PR50	2542,92	0,39	277,44
MN91	1486,17	0,43	123,74	PR51	5507,38	0,77	319,41
MN92	2219,22	0,43	136,72	PR60	660,76	0,28	116,50
MN93	287,35	3,00	71,10	PR61	646,99	0,30	40,16
PR0102	4903,56	1,47	89,28	PR62	1208,00	0,63	43,62
PR0103	590,38	3,00	61,73	PR71	285,27	0,34	12,17
PR0202	1454,26	0,47	288,04	PR72	504,81	0,71	16,21
PR0204	4725,40	0,60	353,21	PR73	235,29	0,53	11,43
PR0302	1802,68	1,16	404,54	PR74	235,29	0,53	11,43
PR0303	2510,69	0,94	404,54	PR97	645,38	0,24	117,20
PR0402	309,37	0,40	130,09	PR98	614,62	0,47	38,67
PR0403	715,88	1,79	12,52	PR99	236,00	0,56	17,87
PR0502	3362,13	3,00	270,30	PU10	8123,12	0,35	929,34
PR0504	385,94	0,14	7,35	PU11	7439,88	0,36	1132,47
PR0601	1449,82	0,54	27,51	PU12	7237,39	0,40	1109,21
PR0701	1314,39	0,81	25,60	PU13	9582,09	0,50	1055,85
PR0801	1457,07	1,02	32,85	PU14	7160,42	0,40	958,10
PR0903	1390,51	1,03	141,63	PU15	8892,35	0,39	1008,37
PR1001	464,88	0,99	35,75	PU16	7393,00	0,31	1066,86
PR1102	19443,18	2,36	49,19	PU17	6097,03	0,45	760,42
PR1201	6703,64	1,62	23,43	PU18	7622,39	0,59	721,05
PR1302	2398,88	1,42	39,71	PU19	9269,85	0,36	1154,92
PR1401	1421,89	1,78	28,13	PU20	8656,50	0,39	1012,94
PR1501	4011,28	0,24	274,32	PU21	9211,78	0,40	914,75
PR1601	1140,17	0,46	137,27	PU22	10707,63	0,39	1094,34
PR1602	1952,89	0,72	370,88	PU23	7360,43	0,54	739,25
PR1701	1987,75	1,20	223,08	PU24	7717,63	0,57	734,89

	ifo	ia	ifc		ifo	ia	ifc
	mm/h	min-1	mm/h		mm/h	min-1	mm/h
PR1801	542,17	0,41	102,95	PU25	7767,65	0,63	705,60
PR1901	2192,37	0,22	305,01	PU26	9238,57	0,42	1102,49
PR2001	151,00	0,59	13,18	PU27	8949,87	0,67	895,75
PR2101	479,08	0,99	19,15	PU28	7564,54	0,62	1051,52
PU29	10026,15	0,40	1019,03	TU14	3551,01	0,48	59,27
TU0101	5110,87	0,58	0,00	TU15	453,13	0,89	16,60
TU0102	1229,14	0,18	277,89	TU17	603,20	0,26	140,74
TU0201	304,83	1,14	13,45	TU19	844,06	0,34	149,83
TU0202	1921,20	0,17	408,11	TU20	262,75	0,27	22,01
TU0301	507,85	0,05	329,26	TU21	2968,04	0,54	425,53
TU0302	848,30	1,05	236,10	TU22	1109,03	0,38	80,05
TU0401	469,95	0,24	128,20	TU25	1528,03	0,46	110,36
TU0402	379,22	0,26	32,64	TU27	1424,86	0,43	158,95
TU10	337,84	0,37	26,91	TU28	3632,43	0,33	169,62
TU11	656,52	0,49	40,36	TU29	4243,92	0,40	220,25
TU13	249,57	0,63	11,08				

APÉNDICE F

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS CON LLUVIA SIMULADA

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-1

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
AN0101	900224	9,5	16,4	12,9	40	55	0,06			
AN0102	900421	14,3	20,1	17,2	30	55	0,06			
AN0103	900721	6,1	9,5	7,8	30	55		7,00		
AN0104	901103	22,3	19,0	20,6	40	55	0,01	2,30		
AN0201	900224	9,0	16,2	12,6	33	55	0,03	7,18		9,00
AN0202	900421	17,9	15,5	16,7	30	55	0,03	3,30		7,00
AN0203	900721	4,0	10,1	7,1	50	55	0,06	12,00	12,20	29,00
AN0204	901103	5,9	20,6	13,3	30	55	0,02	2,50	2,59	10,15
AN0301	900224	3,1	12,1	7,6	30	55	0,02	6,17		11,00
AN0302	900421	5,3	15,4	10,3	30	55	0,03	10,50	3,00	8,50
AN0303	900721	2,6	4,2	3,4	30	55	0,03	4,50	5,30	15,00
AN0304	901103	5,2	14,9	10,0	30	55	0,01	2,00	2,45	7,00
AN0305	910719	1,2	4,3	2,8	30	55	0,02	3,00	5,09	11,00
AN0401	900224	4,2	17,3	10,8	30	55	0,01	3,30		4,00
AN0402	900421	7,5	18,4	12,9	30	55	0,01	2,39	3,49	5,00
AN0403	900721	2,6	4,2	3,4	30	55	0,06	3,50	4,25	9,00
AN0404	901103	12,5	20,9	16,7	40	55	0,01	2,05	2,10	5,00
AN0405	910718	0,5	1,2	0,8	30	55	0,03	8,00	9,02	12,00
AN0501	900224	26,0	14,2	20,1	90	55	0,11	6,30		
AN0502	900421	22,3	18,3	20,3	180	55	1,02			
AN0503	900723	1,9	4,0	2,9	180	120	0,00	15,00		
AN0504	901103	21,8	24,1	22,9	60	55	0,00	1,50		
AN0505	910722	2,3	2,4	2,4	60	55				
AN0601	900224	28,0	23,9	25,9	50	55	0,03	6,00		
AN0602	900421	26,4	21,4	23,9	190	55	0,73			
AN0603	900723	4,9	12,8	8,8	30	120	0,10	8,00	11,00	
AN0604	901103	28,4	28,8	28,6	60	55	0,14	2,40	4,30	
AN0605	910722	3,3	5,7	4,5	60	55				
AN0701	900224	22,5	17,3	19,9	61	55	0,00			
AN0702	900423	21,3	19,3	20,3	150	55	0,00	4,45		
AN0703	900723	7,8	10,0	8,9	45	120	0,02	6,00	7,00	8,00
AN0704	901103	23,4	22,9	23,1	114	55	0,04			
AN0705	910722	2,4	1,4	1,9	114	55				
AN08	910822	0,9	2,1	1,5	30	55	0,01	2,13	4,56	0,00
AN10	910719	0,1	2,0	1,1	30	55	0,13	3,09	7,07	6,00
AN11	910719	0,8	1,6	1,2	30	55	0,20			
AN12	910719	0,5	2,3	1,4	30	55	0,07	3,10	3,50	
AN13	910719	1,0	2,1	1,6	30	55	0,04	5,30	8,00	22,00
AN14	910720	0,2	1,2	0,7	30	55	0,04	2,20	3,10	
AN15	910720	0,7	1,0	0,9	30	55	0,03	5,00	5,22	5,30
AN16	910720	0,2	2,0	1,1	30	55	0,00	2,30	5,00	
AN17	910720	1,2	2,2	1,7	30	55	0,00	2,30	5,00	
AN18	910720	1,7	3,4	2,6	30	55	0,03	4,00	5,00	5,30
AN19	910720	1,7	2,9	2,3	30	55	0,02	2,00	3,00	
AN20	910823	1,0	2,0	1,5	30	55	0,00	2,00	2,38	3,25
AN21	910823	0,7	2,1	1,4	30	55	0,03	2,18	3,50	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-2

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
AN0101	9,00	2,28	4,87	0,09	0,13	0,12	4,66	47,62	5,09
AN0102	4,30	2,43	5,28	0,10	0,14	0,10	0,13	46,92	0,14
AN0103			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN0104	3,00	2,66	18,28	0,33	0,36	1,27	2,78	34,46	3,03
AN0201	9,00	1,96	9,81	0,18	0,30	0,20	7,49	38,73	8,17
AN0202	4,00	1,50	9,77	0,18	0,26	0,16	3,36	40,37	3,67
AN0203	15,00	0,50	7,15	0,13	0,24	0,10	13,23	41,13	14,44
AN0204	3,15	1,41	22,21	0,40	0,54	0,19	2,68	24,33	2,92
AN0301	9,00	2,75	16,87	0,31	0,59	0,12	8,57	16,65	9,35
AN0302	3,45	2,66	15,65	0,28	0,48	0,08	3,90	22,68	4,25
AN0303	6,30	1,86	12,45	0,23	0,37	0,14	5,57	32,91	6,08
AN0304	3,00	2,08	17,30	0,31	0,41	0,26	2,65	32,52	2,89
AN0305	7,00	1,66	15,60	0,28	0,50	0,15	7,00	25,56	7,63
AN0401	6,00	2,53	19,83	0,36	0,54	0,24	5,11	25,78	5,57
AN0402	4,00	1,66	25,92	0,47	0,67	0,20	3,91	17,50	4,27
AN0403	4,45	1,58	14,19	0,26	0,48	0,04	4,27	6,07	4,66
AN0404	2,30	2,08	31,68	0,58	0,72	0,21	2,63	15,63	2,86
AN0405	10,00	1,16	10,39	0,20	0,52	0,12	9,35	31,28	10,19
AN0501	20,00	0,83	2,58	0,05	0,09	0,49	17,97	51,51	19,61
AN0502	100,00	0,50	0,72	0,01	0,04	0,11	91,18	53,19	99,47
AN0503			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN0504	2,30	0,66	14,74	0,27	0,31	3,42	2,29	39,41	2,50
AN0505			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN0601	7,30	0,50	4,72	0,09	0,07	1,38	6,87	49,69	7,50
AN0602	93,00	0,50	1,43	0,03	0,07	0,02	77,76	49,95	84,83
AN0603	13,00		1,19	0,01	0,02	0,55	25,56	117,71	12,78
AN0604	5,00	1,35	3,40	0,06	0,09	0,06	0,02	50,23	0,02
AN0605			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN0701	15,00	0,50	2,52	0,05	0,05	2,52	0,05		
AN0702	6,30	0,50	2,79	0,05	0,04	2,79	0,05		
AN0703	8,00		5,76	0,05	0,06	1,81	15,84	112,81	7,92
AN0704	2,15	0,93	9,21	0,17	0,19	0,13	0,01	45,66	0,01
AN0705			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN08	5,12	1,00	11,37	0,21	0,29	0,61	4,73	40,54	5,16
AN10	8,00	0,41	2,79	0,05	0,11	0,05	6,56	45,74	7,16
AN11	16,00	0,33	0,62	0,01	0,03	0,13	14,44	52,71	15,76
AN12	5,00	0,66	7,77	0,14	0,28	0,04	5,18	28,36	5,65
AN13	10,00	0,50	7,99	0,15	0,39	0,10	9,48	33,82	10,34
AN14	4,00	1,48	12,93	0,25	0,47	0,09	3,25	32,50	3,55
AN15	8,30	1,33	9,17	0,17	0,37	0,17	8,11	37,28	8,85
AN16	13,30	1,50	2,95	0,05	0,18				
AN17	9,30	1,50	4,26	0,08	0,20				
AN18	7,00	1,33	10,06	0,19	0,37	0,14	6,14	36,38	6,70
AN19	5,20	1,48	12,66	0,24	0,41	0,25	4,50	37,29	4,91
AN20	8,37	0,58	3,16	0,06	0,16				
AN21	6,15	1,33	9,70	0,18	0,37	0,13	6,38	36,79	6,96

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-3

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
AN0101	61	28,38	13,21	25,37	37,32	49,23	0,04	0,08
AN0102	55	29,31	12,75	24,72	36,50	48,25	0,07	0,10
AN0103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0104	993	6,25	9,78	18,40	27,01	35,62	0,29	0,33
AN0201	120	27,10	12,81	22,80	32,50	42,18	0,07	0,17
AN0202	66	26,54	12,18	22,49	32,60	42,70	0,11	0,18
AN0203	98	50,28	13,74	25,66	36,31	46,68	0,00	0,07
AN0204	78	28,53	9,78	16,10	22,20	28,28	0,29	0,41
AN0301	140	52,91	12,56	18,74	23,21	27,42	0,09	0,32
AN0302	68	67,01	11,71	19,32	25,59	31,44	0,15	0,30
AN0303	84	36,92	12,24	21,11	29,42	37,66	0,11	0,23
AN0304	80	19,23	10,42	18,60	26,73	34,86	0,24	0,32
AN0305	119	39,05	12,15	19,42	25,91	32,31	0,12	0,29
AN0401	137	25,25	10,75	17,38	23,83	30,27	0,22	0,37
AN0402	105	31,17	9,53	14,22	18,61	22,99	0,31	0,48
AN0403	64	190,16	12,23	20,13	25,37	29,05	0,11	0,27
AN0404	87	29,61	8,40	12,54	16,45	20,36	0,39	0,54
AN0405	112	46,07	13,20	22,47	30,52	38,38	0,04	0,18
AN0501	56622	23,48	13,75	26,98	39,86	52,74	0,00	0,02
AN0502	94636	110,67	13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0503			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0504	79863	3,58	10,42	20,27	30,12	39,97	0,24	0,26
AN0505			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0601	>100000	9,22	13,10	25,52	37,95	50,37	0,05	0,07
AN0602	71	222,49	13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0603	2815	13,99	29,95	59,39	88,82	118,25	0,00	0,01
AN0604	55	40,83	13,35	26,25	38,96	51,58	0,03	0,05
AN0605			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN0701								
AN0702								
AN0703	>100000	8,95	29,17	57,37	85,57	113,77	0,03	0,04
AN0704	55	24,02	12,40	23,97	35,41	46,82	0,10	0,13
AN0705			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN08	375	11,04	11,66	21,79	31,93	42,06	0,15	0,21
AN10	59	69,64	13,52	26,06	38,03	49,73	0,02	0,05
AN11	71	26,92	13,75	27,19	40,40	53,58	0,00	0,01
AN12	62	111,35	12,94	23,25	32,03	40,00	0,06	0,15
AN13	93	52,26	13,36	23,47	32,30	40,84	0,03	0,15
AN14	64	48,29	11,95	21,04	29,40	37,59	0,13	0,23
AN15	114	32,14	12,98	22,84	32,20	41,53	0,06	0,17
AN16								
AN17								
AN18	83	35,55	12,61	22,30	31,47	40,58	0,08	0,19
AN19	97	20,45	11,73	21,13	30,46	39,78	0,15	0,23
AN20								
AN21	82	37,11	12,73	22,59	31,88	41,09	0,07	0,18

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-4

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
AN0101	0,10	0,10	0,24	0,20	1,16	0,00	1052	-15,27
AN0102	0,12	0,12	0,38	0,26	2,00	-0,01	309	-16,35
AN0103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN0104	0,35	0,35	0,66	2,01	12,07	-0,09	225	-8,99
AN0201	0,21	0,23	0,82	1,04	7,99	-0,01	1175	-13,39
AN0202	0,21	0,22	1,89	2,18	18,44	0,01	352	-11,81
AN0203	0,12	0,15	1,50	2,11	10,69	0,06	273	-6,54
AN0204	0,46	0,49	1,88	4,93	41,68	0,02	634	-19,60
AN0301	0,44	0,50	10,00	23,74	168,72	-0,63	1297	-17,32
AN0302	0,38	0,43	4,13	9,10	64,69	0,12	776	-7,26
AN0303	0,29	0,32	4,72	8,27	58,74	-0,03	887	-9,30
AN0304	0,35	0,37	6,97	16,97	120,62	-0,23	1108	-27,63
AN0305	0,37	0,41	5,47	8,86	85,25	-0,08	1081	-2,32
AN0401	0,42	0,45	10,27	32,29	203,72	0,23	893	-16,88
AN0402	0,55	0,58	8,04	33,02	208,35	0,21	431	-21,74
AN0403	0,39	0,47	7,20	16,20	102,19	-0,07	425	-10,38
AN0404	0,60	0,63	17,16	114,93	543,85	-0,11	649	-23,82
AN0405	0,26	0,30	14,24	16,84	147,92	-0,13	423	1,78
AN0501	0,03	0,04	0,02	0,01	0,05	0,00	444	-6,90
AN0502	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,00	121	-0,70
AN0503	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN0504	0,27	0,27	0,21	0,62	3,12	0,00	168	-3,68
AN0505	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN0601	0,08	0,08	0,18	0,19	0,83	0,00	347	-2,92
AN0602	0,00	0,00	0,16	0,19	0,23	0,00	125	-0,56
AN0603	0,01	0,01	0,55	0,09	0,65	-0,11		
AN0604	0,06	0,06	0,78	0,71	2,67	-0,02	125	-2,51
AN0605	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN0701			0,27	0,11	0,68	0,00	453	-5,67
AN0702			0,54	0,62	1,52	0,01	167	0,88
AN0703	0,05	0,05	0,66	0,47	3,78	0,00	175	-0,92
AN0704	0,14	0,15	0,10	0,29	0,94	0,00	34	-0,72
AN0705	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN08	0,23	0,24	40,14	56,54	456,23	-0,46	5160	-386,94
AN10	0,08	0,10	2,69	0,82	7,50	-0,22	1056	16,27
AN11	0,02	0,03	1,36	0,09	0,85	-0,05	867	-8,31
AN12	0,22	0,27	1,98	1,71	15,35	-0,04	1324	-3,14
AN13	0,22	0,26	2,19	1,55	17,46	-0,07		
AN14	0,29	0,32	1,83	2,72	23,67	-0,02	920	-14,35
AN15	0,22	0,24	1,86	1,98	17,08	-0,02	1067	-208,86
AN16			1,41	0,42	4,16	-0,06	1177	-13,15
AN17			2,56	1,26	10,89	0,11	1177	-9,46
AN18	0,24	0,26	3,85	4,40	38,78	-0,07	1067	-197,72
AN19	0,26	0,28	1,83	2,76	23,14	0,00	920	-14,42
AN20			1,45	0,54	4,58	-0,11	1338	4,08
AN21	0,23	0,25	1,32	1,52	12,77	-0,06	311	-4,61

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-5

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
AN0101	46,77	41,46	48,15	4,03	-0,05	48,13
AN0102	47,13	21,78	47,86	4,01	-0,04	47,32
AN0103						
AN0104	33,56	19,15	34,20	3,59	-0,01	34,81
AN0201	33,50	148,16	38,44	4,31	-0,20	38,18
AN0202	38,19	70,77	40,55	4,15	-0,14	39,55
AN0203	35,57	268,35	44,52	4,51	-0,21	44,93
AN0204	20,46	113,57	24,24	4,33	-0,36	22,57
AN0301	1,89	506,09	18,76	6,03	-0,91	18,82
AN0302	25,04	147,17	29,94	4,62	-0,39	27,38
AN0303	27,74	174,98	33,57	4,54	-0,31	32,44
AN0304	28,90	79,01	31,53	4,13	-0,21	30,23
AN0305	13,86	335,71	25,05	5,07	-0,54	25,03
AN0401	18,16	179,70	24,15	4,48	-0,39	23,53
AN0402	9,35	204,66	16,17	4,80	-0,60	15,66
AN0403	24,72	181,10	30,76	4,77	-0,42	28,09
AN0404	11,04	137,63	15,62	4,42	-0,50	15,16
AN0405	16,65	417,07	30,55	5,47	-0,61	29,44
AN0501	49,94	75,80	52,46	4,11	-0,04	52,70
AN0502	51,70	226,53	59,26	4,13	-0,03	55,92
AN0503						
AN0504	39,42	2,65	39,51	3,69	0,00	39,51
AN0505						
AN0601	49,60	3,35	49,71	3,89	0,00	49,71
AN0602	47,56	614,48	68,05	4,38	-0,09	59,45
AN0603	116,64	25,63	117,50	4,80	-0,01	117,47
AN0604	50,20	23,45	50,98	4,03	-0,03	51,15
AN0605						
AN0701	52,81	-41,49	51,43	3,85	0,03	51,31
AN0702	53,68	-93,70	50,56	3,65	0,07	49,24
AN0703	112,13	15,86	112,66	4,75	-0,01	112,73
AN0704	44,76	23,67	45,55	3,96	-0,04	46,26
AN0705						
AN08	37,08	57,09	38,98	3,96	-0,09	38,84
AN10	47,21	66,41	49,42	4,18	-0,08	48,96
AN11	51,13	57,24	53,03	4,13	-0,05	52,98
AN12	35,25	132,76	39,68	4,47	-0,24	38,33
AN13	22,57	366,78	34,80	5,24	-0,51	33,62
AN14	31,02	120,99	35,05	4,40	-0,26	33,29
AN15	26,71	263,03	35,47	4,75	-0,35	34,86
AN16	34,94	305,95	45,13	4,85	-0,31	44,55
AN17	38,46	180,04	44,46	4,54	-0,22	43,71
AN18	29,67	182,92	35,77	4,57	-0,30	34,71
AN19	32,80	98,06	36,07	4,18	-0,18	35,25
AN20	44,14	112,73	47,90	4,34	-0,14	47,14
AN21	30,22	189,57	36,54	4,60	-0,30	35,36

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-6

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
AN22	910823	1,2	3,1	2,2	30	55	0,04	5,00	7,00	7,15
AN23	910823	0,7	2,2	1,5	30	55	0,03	1,40	3,42	7,10
AN24	910824	1,2	3,0	2,1	30	55	0,14	5,34	7,36	5,50
AN25	910891	1,2	3,5	2,3	30	55	0,05	4,10	5,40	5,50
AN26	910824	0,5	1,5	1,0	30	55	0,03	3,20	5,20	7,15
AN27	910824	1,0	2,1	1,5	30	55	0,07	5,57	7,10	6,10
AN28	910824	0,6	2,7	1,6	30	55	0,03	2,43	4,30	4,10
AN29	910824	2,0	2,4	2,2	60	55	0,18	5,20		
AN30	910824	1,2	1,4	1,3	60	55		5,20		
AN50	910719	1,0	2,1	1,5	30	55	0,00	2,50	4,00	15,00
AN51	910720	1,2	3,1	2,2	30	55		6,00	11,00	
AN52	910719	1,4	3,0	2,2	30	55	0,01	7,30	7,40	25,00
AN53	910720	2,5	5,7	4,1	30	55		6,00	11,00	
AN54	910720	1,3	3,2	2,3	30	55	0,04	3,30	3,50	5,10
AN55	910719	1,2	3,2	2,2	30	55	0,03	7,00		8,54
AN56	910720	1,0	2,0	1,5	30	55	0,03	5,00	6,00	
AN57	910719	1,2	3,4	2,3	30	55	0,03	8,00	11,00	5,00
AN58	910719	1,3	3,2	2,3	30	55	0,00	4,37	5,10	6,00
AN59	910720	1,1	2,3	1,7	30	55	0,01	1,30	3,00	2,50
AN60	910720	1,2	3,1	2,2	30	55		6,00	11,00	
AN90	910820	1,2	3,2	2,2	60	55	0,48			
AN91	910820	2,3	6,5	4,4	60	55				
AN92	910820	2,1	4,3	3,2	60	55	0,70			
AN93	910820	2,1	4,4	3,3	60	55				
AN94	910820	1,2	4,4	2,8	60	55				
AN95	910820	1,2	3,7	2,4	60	55				
AN96	910820	2,5	5,3	3,9	60	55				
AN97	910820	2,5	4,0	3,3	60	55				
AN98	910820	2,0	5,0	3,5	60	55				
AN99	910820	2,9	5,2	4,1	60	55				
BO0001	900428	3,8	10,3	7,0	16	55	0,01	0,45		1,05
BO0002	900813	1,5	1,8	1,7	60	55	0,05	5,36	7,00	
BO0003	901105	6,0	9,0	7,5	30	55	0,01	0,42	0,50	
BO0004	910819	2,3	5,3	3,8	60	55	0,04	4,00	6,30	
BO0005	910820	8,9	14,2	11,6	60	55	0,04	4,30	6,50	
BO0006	920201	11,3	15,7	13,5	60	55	0,06	3,30	5,40	
BO0007	920816	3,9	7,5	5,7	60	55	0,05	5,00	6,30	
BO0101	900225	4,0	10,1	7,0	30	55	0,00	2,40		
BO0102	900428	12,7	10,3	11,5	30	55	0,00	1,30	2,00	
BO0103	900813	1,3	1,3	1,3	30	85	0,00	18,00		
BO0104	901105	6,1	12,1	9,1	30	55	0,01	1,56	2,15	
BO0105	910819	2,3	4,6	3,5	30	55				
BO0106	920201	10,5	11,4	11,0	60	55	0,13	6,00	8,00	
BO0107	920816	4,7	7,9	6,3	60	55				
BO0201	900224	2,0	4,7	3,4	41	55	0,12	4,10		
BO0202	900428	11,5	13,3	12,4	31	55	0,00	2,00	2,15	2,20

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-7

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
AN22	8,31	1,66	4,40	0,08	0,16	0,26	7,65	47,76	8,35
AN23	7,10	0,83	7,46	0,14	0,25	0,23	6,56	43,15	7,16
AN24	13,17	0,50	1,02	0,02	0,05	0,26	11,94	52,79	13,02
AN25	7,30	0,41	3,62	0,07	0,10	0,22	6,59	48,98	7,19
AN26	6,30	1,25	3,67	0,07	0,10	1,52	5,95	50,20	6,49
AN27	9,55	0,65	2,92	0,05	0,11	0,15	8,61	48,88	9,40
AN28	8,53	0,98	9,09	0,17	0,32	0,23	7,91	39,57	8,63
AN29	12,20		1,12	0,02	0,04	0,18	10,30	53,43	11,23
AN30	12,20		0,00	0,00	0,00			55,00	
AN50	5,00	1,00	11,99	0,22	0,46				
AN51			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN52	12,00	0,83	8,35	0,15	0,42				
AN53			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN54	8,00	1,26	7,75	0,14	0,26	0,11	6,41	39,20	6,99
AN55	9,00	1,00	4,92	0,09	0,14	0,80	8,21	47,55	8,96
AN56	7,30	1,66	8,06	0,15	0,24	0,22	6,10	42,33	6,66
AN57	13,50	1,00	9,46	0,17	0,44	0,11	11,46	25,66	12,50
AN58	8,30	0,91	9,10	0,17	0,45				
AN59	5,00	2,31	24,64	0,45	0,65	0,19	4,58	17,73	4,99
AN60			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN90	41,00		0,44	0,01	0,03	0,57	37,58	53,52	40,99
AN91			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN92	31,00		0,24	0,00	0,01	0,04	28,88	53,64	31,51
AN93			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN94			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN95			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN96			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN97			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN98			0,00	0,00	0,00			55,00	
AN99			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0001	1,00	1,36	36,10	0,70	0,90	0,34	0,78	3,71	0,85
BO0002	9,00	0,83	9,75	0,18	0,24	0,09	6,45	41,20	7,04
BO0003	1,00	1,50	30,02	0,55	0,65	0,34	0,55	20,77	0,60
BO0004	8,31	1,51	9,18	0,17	0,22	0,17	8,03	42,83	8,76
BO0005	9,10	1,51	9,68	0,18	0,23	0,15	8,21	41,81	8,95
BO0006	7,35	1,51	12,88	0,23	0,35	0,06	6,28	34,51	6,85
BO0007	9,20	0,41	8,00	0,15	0,20	0,15	8,06	44,20	8,79
BO0101	3,00	0,86	16,61	0,30	0,29	1,53	2,73	36,05	2,98
BO0102	2,30	2,00	27,00	0,49	0,48	1,19	2,25	24,71	2,45
BO0103			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0104	3,00	1,23	17,85	0,32	0,37	0,65	2,63	34,18	2,87
BO0105			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0106	10,50	1,50	2,80	0,05	0,08	0,09	7,11	50,90	7,75
BO0107			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0201	11,00	0,75	4,45	0,08	0,14	0,05	4,83	44,34	5,27
BO0202	2,30	0,41	21,55	0,39	0,34	1,93	2,26	31,19	2,47

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-8

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
AN22	109	18,98	13,28	25,30	37,24	49,18	0,03	0,08
AN23	104	21,71	12,84	23,75	34,55	45,33	0,07	0,14
AN24	118	18,55	13,73	27,00	40,19	53,39	0,00	0,02
AN25	79	18,37	13,29	25,61	37,85	50,10	0,03	0,07
AN26	92740	7,98	13,08	25,63	38,18	50,73	0,05	0,07
AN27	74	26,08	13,53	25,99	38,24	50,46	0,02	0,05
AN28	157	24,24	12,86	22,96	32,86	42,76	0,06	0,16
AN29	65	17,35	13,72	27,14	40,50	53,86	0,00	0,01
AN30			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN50								
AN51			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN52								
AN53			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN54	73	41,19	12,98	23,56	33,51	43,34	0,06	0,14
AN55	9755	12,39	13,10	24,99	36,87	48,76	0,05	0,09
AN56	99	21,83	12,69	23,40	33,99	44,57	0,08	0,15
AN57	138	56,56	13,54	22,59	29,53	36,05	0,02	0,18
AN58								
AN59	115	32,96	10,05	14,89	19,34	23,78	0,27	0,46
AN60			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN90	>100000	42,77	13,75	27,50	41,18	54,56	0,00	0,00
AN91			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN92	58	57,11	13,75	27,50	41,18	54,75	0,00	0,00
AN93			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN94			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN95			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN96			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN97			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN98			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
AN99			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0001	72	22,21	3,74	4,68	5,61	6,54	0,73	0,83
BO0002	68	44,96	13,16	24,31	34,82	45,18	0,04	0,12
BO0003	63	15,69	6,92	12,12	17,31	22,51	0,50	0,56
BO0004	97	28,46	13,20	24,26	34,99	45,70	0,04	0,12
BO0005	90	32,67	13,24	24,21	34,72	45,18	0,04	0,12
BO0006	66	72,36	13,08	23,65	33,04	41,96	0,05	0,14
BO0007	85	29,94	13,30	24,74	35,83	46,89	0,03	0,10
BO0101	1834	5,57	10,04	19,05	28,06	37,07	0,27	0,31
BO0102	583	6,49	7,56	13,74	19,92	26,10	0,45	0,50
BO0103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0104	169	9,19	9,91	18,45	27,00	35,54	0,28	0,33
BO0105			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0106	59	31,36	13,60	26,62	39,42	52,16	0,01	0,03
BO0107			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0201	58	74,63	13,38	25,67	37,36	48,75	0,03	0,07
BO0202	2802	4,72	8,76	16,55	24,35	32,15	0,36	0,40

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-9

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
AN22	0,10	0,11	1,26	0,63	5,53	-0,05	1014	-1,51
AN23	0,16	0,18	1,74	1,58	12,95	-0,16	285	-5,35
AN24	0,03	0,03	1,33	0,14	1,37	-0,15	1581	8,25
AN25	0,08	0,09	1,16	0,48	4,18	-0,03	740	-18,50
AN26	0,07	0,08	1,26	0,54	4,64	0,02	536	-26,50
AN27	0,07	0,08	0,55	0,18	1,60	-0,04	1084	-6,73
AN28	0,20	0,22	1,65	1,76	15,01	-0,01		
AN29	0,02	0,02	0,59	0,15	0,66	0,00		
AN30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN50			1,28	1,65	15,29	-0,12	225	-2,25
AN51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN52			1,03	0,91	8,57	-0,07	772	-7,19
AN53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN54	0,19	0,21	1,42	1,23	11,04	-0,01		
AN55	0,11	0,11	0,83	0,36	4,07	-0,08		
AN56	0,18	0,19	0,35	0,29	2,80	0,00		
AN57	0,28	0,34	0,79	0,76	7,51	-0,06		
AN58			0,94	0,81	8,60	-0,04		
AN59	0,53	0,57	4,25	12,50	104,78	-0,16		
AN60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN90	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02			
AN91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN92	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01			
AN93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
AN99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0001	0,86	0,88	5,46	15,34	197,17	-0,63	119	-4,59
BO0002	0,16	0,18	3,91	11,11	38,07	-0,09	199	-2,49
BO0003	0,58	0,59	1,61	7,04	48,27	0,01	45	-1,27
BO0004	0,15	0,17	2,35	6,28	21,53	-0,02		
BO0005	0,16	0,18	2,21	6,24	21,39	-0,05		
BO0006	0,20	0,24	2,05	7,71	26,41	-0,04		
BO0007	0,13	0,15	2,09	4,88	16,72	-0,04		
BO0101	0,32	0,33	0,56	1,15	9,37	-0,01	113	-2,25
BO0102	0,52	0,53	0,54	1,80	14,65	-0,03	663	-7,58
BO0103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0104	0,35	0,35	9,26	20,35	165,30	-0,34	77	-3,03
BO0105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0106	0,04	0,05	0,80	0,55	2,23	-0,02		
BO0107	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0201	0,09	0,11	0,49	0,41	2,16	-0,05	107	-1,56
BO0202	0,41	0,42	0,46	1,44	9,92	-0,05	536	1,84

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-10

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
AN22	44,25	78,38	46,87	4,16	-0,09	46,54
AN23	37,92	115,49	41,77	4,28	-0,16	41,16
AN24	50,98	45,41	52,50	4,10	-0,04	52,41
AN25	46,26	58,04	48,19	4,13	-0,08	47,75
AN26	49,27	16,02	49,80	3,98	-0,02	49,65
AN27	46,35	77,56	48,94	4,19	-0,09	48,62
AN28	32,03	174,08	37,83	4,42	-0,23	37,33
AN29	52,95	18,73	53,58	4,03	-0,01	53,65
AN30						
AN50	23,69	236,03	31,56	5,04	-0,49	28,94
AN51						
AN52	13,39	549,59	31,71	5,81	-0,70	31,02
AN53						
AN54	36,07	140,28	40,74	4,35	-0,19	40,05
AN55	45,35	46,50	46,90	4,04	-0,06	46,73
AN56	38,96	85,91	41,83	4,14	-0,12	41,34
AN57	13,81	493,91	30,27	5,59	-0,65	29,80
AN58	19,95	375,44	32,47	5,46	-0,60	30,63
AN59	8,66	234,29	16,47	4,91	-0,63	16,09
AN60						
AN90	51,85	88,61	54,81	4,11	-0,03	54,55
AN91						
AN92	53,06	63,59	55,18	4,10	-0,03	55,08
AN93						
AN94						
AN95						
AN96						
AN97						
AN98						
AN99						
BO0001	0,08	69,59	2,40	4,38	-1,10	1,93
BO0002	38,88	126,26	43,09	4,19	-0,12	43,69
BO0003	19,05	41,05	20,42	3,85	-0,28	17,92
BO0004	39,93	115,56	43,78	4,13	-0,10	44,32
BO0005	38,76	129,95	43,09	4,16	-0,11	43,66
BO0006	32,51	196,96	39,07	4,42	-0,22	39,89
BO0007	41,79	101,15	45,17	4,11	-0,09	45,62
BO0101	35,48	11,73	35,87	3,57	0,01	36,55
BO0102	22,94	30,58	23,96	3,31	-0,03	24,85
BO0103						
BO0104	31,17	45,12	32,68	3,84	-0,11	32,26
BO0105						
BO0106	50,32	35,84	51,51	4,04	-0,03	51,68
BO0107						
BO0201	44,84	87,38	47,75	4,17	-0,09	47,78
BO0202	30,64	11,91	31,04	3,39	0,02	32,06

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-11

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
BO0203	900813	1,1	0,9	1,0	90	55	0,42	9,00	34,00	
BO0204	901105	11,3	12,3	11,8	40	55	0,01	1,10	1,45	
BO0205	910819	2,6	4,9	3,7	40	55				
BO0206	920219	11,3	12,3	11,8	49	55	0,03	2,10	4,00	
BO0207	920816	3,2	2,6	2,9	49	55				
BO0301	900224	3,0	8,5	5,7	30	55	0,01	4,04		
BO0302	900505	14,2	17,6	15,9	30	55	0,02	2,50	3,15	
BO0303	900812	1,4	2,4	1,9	60	55	0,08	16,00	18,00	
BO0304	901105	8,2	11,9	10,0	40	55	0,01	1,45	1,55	
BO0305	901105	24,4	24,0	24,2	20	55	0,01	1,30	1,40	
BO0306	920819	1,2	3,3	2,2	60	55	0,08	11,00	15,00	
BO0307	920221	8,9	10,5	9,7	30	55	0,03	5,00	5,50	
BO0308	920817	3,6	6,1	4,9	79	55	0,19	23,00	29,30	
BO0401	900224	1,5	8,5	5,0	30	55	0,01	1,10		
BO0402	900505	8,5	9,7	9,1	32	55	0,03	3,40	4,10	
BO0403	900812	1,0	1,8	1,4	60	55	0,10	6,00	9,00	
BO0404	901104	2,3	4,7	3,5	38	55	0,08	1,00	1,50	
BO0405	910819	2,3	4,7	3,5	45	55	0,06	4,00	7,00	
BO0406	920201	8,2	11,9	10,1	40	55	0,03	3,00	3,20	
BO0407	920817	4,9	6,3	5,6	40	55		30,00		
BO0501	900813	1,6	2,1	1,8	30	55	0,02	3,10	4,30	
BO0502	901105	14,1	12,4	13,3	40	55	0,02	2,30	3,00	
BO0503	910820	3,2	5,2	4,2	60	55	0,03	7,00	8,20	
BO0504	920202	11,7	13,2	12,5	43	55	0,03	3,00	6,00	
BO0505	920817	2,2	3,3	2,7	60	55	0,04	10,00	14,30	
BO0601	900813	1,3	1,7	1,5	30	55	0,01	2,30	3,05	
BO0602	901105	11,5	13,9	12,7	68	55	0,04	1,00	1,30	
BO0603	910819	2,6	3,8	3,2	60	55	0,02	5,30	6,00	
BO0604	920202	12,7	11,2	11,9	35	55	0,05	1,50	2,00	
BO0605	920818	3,9	3,9	3,9	35	55		5,00	7,30	
BO0701	900813	1,9	1,8	1,9	30	55	0,03	5,30	6,07	
BO0702	901105	16,4	11,7	14,1	30	55	0,02	1,50	2,10	
BO0703	910820	2,4	3,9	3,1	60	55	0,12	10,00	12,00	
BO0704	920201	10,3	12,5	11,4	42	55	0,06	4,00	4,30	
BO0705	920817	2,9	4,3	3,6	60	55	0,19	34,00	40,00	
BO0801	900813	1,9	2,0	2,0	30	55	0,03	6,00	7,30	
BO0802	901105	9,3	8,3	8,8	30	55	0,01	1,30	2,05	
BO0803	910819	2,9	4,1	3,5	60	55	0,08	12,00	14,00	
BO0804	920201	11,9	12,9	12,4	60	55	0,09	3,00	3,50	
BO0805	920818	1,5	4,4	2,9	60	55	0,10	15,00	25,00	
BO0901	900813	2,0	1,8	1,9	60	55	0,11	9,00	14,00	
BO0902	901105	9,6	8,2	8,9	30	55	0,02	0,00	3,20	
BO0903	920820	2,9	6,4	4,7	60	55	0,12	19,00	21,00	
BO0904	920223	11,3	12,9	12,1	60	55	0,06	3,00	4,00	
BO0905	920818	4,8	5,9	5,3	60	55				
BO1001	900813	1,4	1,4	1,4	60	55	0,18	6,30	18,00	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-12

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
BO0203	40,00	0,83	1,20	0,02	0,05	0,04	31,03	51,66	33,85
BO0204	2,30	1,00	24,12	0,44	0,48	0,55	1,92	28,39	2,10
BO0205			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0206	5,30	2,33	10,24	0,19	0,22	0,18	4,19	42,07	4,58
BO0207			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0301	5,00	1,13	14,66	0,27	0,29	1,10	4,58	36,55	5,00
BO0302	3,30	1,25	23,70	0,43	0,60	0,16	3,03	20,42	3,30
BO0303	19,30	0,75	3,98	0,07	0,12	0,24	17,06	48,56	18,61
BO0304	2,00	1,08	24,35	0,44	0,53	0,35	1,59	27,47	1,74
BO0305	1,50	1,98	28,83	0,52	0,66	0,36	1,40	18,47	1,53
BO0306	17,00	1,33	4,90	0,09	0,15	0,14	15,61	46,84	17,03
BO0307	6,20	1,13	9,09	0,17	0,23	0,24	5,44	41,37	5,94
BO0308	36,00	1,00	2,15	0,04	0,09	0,11	33,16	49,93	36,17
BO0401	3,00	1,25	15,43	0,28	0,32	0,49	2,30	36,70	2,51
BO0402	4,15	1,50	15,94	0,29	0,42	0,09	1,28	29,38	1,40
BO0403	10,00	0,50	2,69	0,05	0,07	0,14	8,04	51,33	8,77
BO0404	3,00	0,33	5,73	0,10	0,15	0,07	1,38	45,94	1,51
BO0405	10,00	0,50	2,85	0,05	0,07	0,73	9,18	51,19	10,01
BO0406	4,00	0,66	3,59	0,07	0,07	0,47	3,62	50,82	3,95
BO0407			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0501	8,00	0,83	8,57	0,16	0,21	0,58	7,11	42,28	7,76
BO0502	3,50	0,91	11,62	0,21	0,26	0,24	0,05	41,63	0,06
BO0503	9,40		7,70	0,14	0,19	0,37	8,61	45,41	9,39
BO0504	6,30	0,91	9,11	0,17	0,20	0,23	5,30	43,12	5,79
BO0505	18,00	1,00	5,78	0,13	0,20	0,26	16,72	42,51	18,24
BO0601	4,30	1,50	11,01	0,20	0,24	0,59	3,86	41,15	4,21
BO0602	2,00	0,66	16,50	0,30	0,38	0,08	0,09	34,24	0,10
BO0603	8,30	1,00	11,82	0,21	0,27	0,28	7,96	40,13	8,69
BO0604	2,30	2,00	12,73	0,23	0,33	0,07	0,01	34,48	0,02
BO0605	9,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
BO0701	7,00	1,00	3,95	0,07	0,10	0,50	5,93	49,54	6,47
BO0702	3,00	0,91	19,07	0,35	0,45	0,19	0,12	31,67	0,13
BO0703	15,30		2,88	0,05	0,08	0,11	13,35	50,29	14,56
BO0704	5,00	0,90	8,64	0,16	0,23	0,08	2,53	41,75	2,76
BO0705	43,00	1,00	1,08	0,02	0,08	0,82	39,39	51,07	42,97
BO0801	8,30	0,66	9,61	0,17	0,33	0,15	7,53	36,42	8,21
BO0802	2,45	0,83	23,49	0,43	0,54	0,87	2,49	28,92	2,71
BO0803	19,00		5,70	0,10	0,20	0,09	17,93	43,49	19,56
BO0804	4,20	0,50	15,29	0,28	0,41	0,03	0,42	26,86	0,46
BO0805	30,30	1,00	3,62	0,07	0,19	0,12	26,37	45,83	28,77
BO0901	17,00	0,50	3,56	0,06	0,10	0,09	8,95	49,28	9,76
BO0902	4,00	1,33	12,74	0,23	0,29	0,24	2,52	38,72	2,75
BO0903	25,00		2,70	0,05	0,10	0,14	22,19	49,39	24,20
BO0904	4,40	1,50	5,40	0,10	0,15	0,11	1,96	47,81	2,14
BO0905			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1001	20,00	0,46	1,46	0,03	0,04	0,26	17,80	52,63	19,42

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-13

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
BO0203	64	83,33	13,75	27,50	41,13	54,45	0,00	0,00
BO0204	113	10,32	8,62	15,72	22,82	29,91	0,37	0,43
BO0205			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0206	71	23,95	12,44	23,12	33,65	44,17	0,10	0,16
BO0207			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0301	4650	8,55	10,83	19,96	29,10	38,24	0,21	0,27
BO0302	79	35,06	9,79	15,35	20,49	25,60	0,29	0,44
BO0303	648	29,23	13,75	26,64	38,80	50,94	0,00	0,03
BO0304	78	14,89	8,73	15,61	22,48	29,35	0,36	0,43
BO0305	82	16,22	6,92	11,54	16,16	20,78	0,50	0,58
BO0306	140	37,00	13,75	26,48	38,31	50,04	0,00	0,04
BO0307	98	20,52	12,43	22,87	33,21	43,56	0,10	0,17
BO0308	292	57,87	13,75	27,50	40,96	53,68	0,00	0,00
BO0401	99	10,51	10,40	19,58	28,76	37,93	0,24	0,29
BO0402	58	52,47	11,19	19,57	27,20	34,62	0,19	0,29
BO0403	64	22,95	13,61	26,59	39,44	52,28	0,01	0,03
BO0404	56	41,44	12,95	24,91	36,55	48,09	0,06	0,09
BO0405	5469	12,78	13,49	26,29	39,09	51,88	0,02	0,04
BO0406	78	8,43	13,09	25,80	38,50	51,21	0,05	0,06
BO0407			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0501	1197	13,62	12,47	23,04	33,61	44,19	0,09	0,16
BO0502	55	14,39	11,21	21,64	32,05	42,46	0,18	0,21
BO0503	341	17,74	13,16	24,56	35,92	47,27	0,04	0,11
BO0504	89	19,99	12,59	23,45	34,23	45,02	0,08	0,15
BO0505	1599	31,01	13,75	25,70	36,36	46,99	0,00	0,07
BO0601	209	10,14	11,53	21,82	32,11	42,40	0,16	0,21
BO0602	55	53,92	11,56	21,07	29,94	38,59	0,16	0,23
BO0603	210	21,57	12,81	22,97	33,01	43,04	0,07	0,16
BO0604	55	60,41	11,74	21,49	30,52	39,29	0,15	0,22
BO0605			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO0701	191	11,25	13,11	25,49	37,88	50,26	0,05	0,07
BO0702	56	22,81	9,72	17,74	25,67	33,58	0,29	0,35
BO0703	75	34,27	13,75	26,83	39,49	52,08	0,00	0,02
BO0704	58	45,41	12,69	23,81	34,45	44,95	0,08	0,13
BO0705	>100000	45,48	13,75	27,50	41,16	53,94	0,00	0,00
BO0801	103	33,58	12,85	22,53	31,69	40,81	0,07	0,18
BO0802	306	7,88	8,68	15,91	23,14	30,37	0,37	0,42
BO0803	113	55,30	13,75	26,73	38,17	49,19	0,00	0,03
BO0804	55	145,93	12,30	22,46	31,32	39,36	0,11	0,18
BO0805	345	53,50	13,75	27,47	39,79	51,38	0,00	0,00
BO0901	63	38,15	13,63	26,44	38,89	51,25	0,01	0,04
BO0902	70	18,62	11,38	21,12	30,80	40,48	0,17	0,23
BO0903	225	41,30	13,75	27,30	39,88	52,26	0,00	0,01
BO0904	57	26,18	12,98	25,12	37,11	49,07	0,06	0,09
BO0905			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1001	442	25,16	13,75	27,20	40,37	53,53	0,00	0,01

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-14

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa μs	ts
BO0203	0,00	0,01	0,10	0,05	0,11	0,00	165	0,00
BO0204	0,45	0,46	4,52	20,36	108,95	-0,22	80	-1,92
BO0205	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0206	0,18	0,20	0,98	2,29	10,01	-0,04	25	-0,04
BO0207	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0301	0,29	0,30	1,14	1,79	16,70	0,03	124	-1,68
BO0302	0,50	0,53	1,15	2,92	27,29	-0,06	496	0,25
BO0303	0,06	0,07	3,50	2,98	13,94	0,04	192	-0,85
BO0304	0,46	0,47	0,53	1,86	13,02	-0,03	40	-1,18
BO0305	0,61	0,62	0,14	0,29	4,09	0,00	46	-3,33
BO0306	0,07	0,09	0,56	0,58	2,72	-0,03		
BO0307	0,19	0,21	0,84	0,82	7,66	-0,03		
BO0308	0,01	0,02	0,24	0,15	0,52	0,00		
BO0401	0,30	0,31	0,55	0,76	8,43	-0,02	107	-0,55
BO0402	0,34	0,37	0,67	1,03	10,68	-0,03	490	-0,15
BO0403	0,04	0,05	0,06	0,03	0,17	0,00		
BO0404	0,11	0,13	0,42	0,27	2,38	-0,04		
BO0405	0,05	0,06	1,14	0,44	3,25	-0,05		
BO0406	0,07	0,07	0,07	0,03	0,25	0,00	41	0,00
BO0407	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0501	0,19	0,20	1,28	0,80	10,95	-0,03	260	-4,56
BO0502	0,22	0,23	5,21	5,88	60,56	-0,07	89	-1,20
BO0503	0,13	0,14	0,56	0,65	4,31	-0,01		
BO0504	0,17	0,18	0,58	0,55	5,27	0,01		
BO0505	0,12	0,15	0,36	0,31	2,10	0,00		
BO0601	0,22	0,23	3,77	4,43	41,52	-0,06	298	-8,07
BO0602	0,27	0,30	2,08	8,29	34,27	-0,08	31	0,00
BO0603	0,20	0,22	1,03	2,61	12,22	-0,01		
BO0604	0,26	0,29	1,58	2,51	20,17	-0,08	25	0,00
BO0605	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO0701	0,08	0,09	3,27	1,25	12,93	-0,01	248	-2,63
BO0702	0,38	0,39	3,17	5,83	60,38	-0,12	70	-1,55
BO0703	0,04	0,05	0,86	0,48	2,48	-0,01		
BO0704	0,16	0,18	0,58	0,68	5,01	0,01		
BO0705	0,00	0,02	0,09	0,02	0,10	0,00		
BO0801	0,23	0,26	3,57	2,43	34,27	0,07	268	1,72
BO0802	0,44	0,45	2,04	3,41	47,99	0,02	61	-2,57
BO0803	0,07	0,11	1,16	0,94	6,60	-0,03		
BO0804	0,24	0,28	1,10	2,38	16,75	0,00	46	0,20
BO0805	0,04	0,07	0,10	0,05	0,35	0,00		
BO0901	0,06	0,07	1,93	0,97	6,88	-0,01	277	0,00
BO0902	0,25	0,26	0,98	0,89	12,51	-0,02	53	-0,44
BO0903	0,03	0,05	0,87	0,33	2,34	-0,03		
BO0904	0,10	0,11	1,10	0,84	5,96	-0,04		
BO0905	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1001	0,02	0,03	0,84	0,22	1,23	-0,08		

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-15

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
BO0203	50,30	156,23	55,51	4,17	-0,05	54,81
BO0204	26,25	40,69	27,61	3,69	-0,11	27,56
BO0205						
BO0206	40,26	63,83	42,39	4,02	-0,08	42,63
BO0207						
BO0301	35,76	16,84	36,32	3,63	-0,01	36,65
BO0302	16,09	147,10	21,00	4,54	-0,46	19,38
BO0303	46,15	106,51	49,70	4,11	-0,06	49,81
BO0304	24,87	55,23	26,71	3,87	-0,18	26,17
BO0305	13,93	71,07	16,30	4,10	-0,45	13,22
BO0306	43,30	166,14	48,83	4,23	-0,10	49,04
BO0307	37,43	91,99	40,50	4,17	-0,14	39,93
BO0308	45,77	288,40	55,39	4,34	-0,10	54,31
BO0401	35,14	29,32	36,11	3,80	-0,07	35,70
BO0402	29,86	92,13	32,93	4,22	-0,23	31,55
BO0403	50,51	35,23	51,69	4,04	-0,03	51,85
BO0404	46,51	31,41	47,56	4,07	-0,06	47,08
BO0405	50,43	21,17	51,13	3,99	-0,02	51,18
BO0406	50,35	10,98	50,72	3,97	-0,01	50,78
BO0407						
BO0501	38,67	74,11	41,14	4,04	-0,10	41,03
BO0502	41,20	14,69	41,69	3,84	-0,03	41,47
BO0503	43,90	55,07	45,74	3,96	-0,04	45,96
BO0504	41,05	62,51	43,13	4,01	-0,07	43,29
BO0505	34,78	291,38	44,50	4,48	-0,20	44,82
BO0601	39,01	40,25	40,35	3,93	-0,07	40,09
BO0602	34,68	56,36	36,56	4,12	-0,15	36,63
BO0603	37,35	101,19	40,73	3,99	-0,08	41,14
BO0604	37,28	48,39	38,89	4,12	-0,15	37,33
BO0605						
BO0701	48,36	24,16	49,17	4,00	-0,03	49,03
BO0702	30,46	42,78	31,89	3,91	-0,15	30,23
BO0703	48,64	81,36	51,36	4,11	-0,05	51,53
BO0704	41,23	68,79	43,53	4,13	-0,11	43,29
BO0705	45,81	274,96	54,98	4,33	-0,10	54,05
BO0801	29,34	208,20	36,28	4,61	-0,31	35,47
BO0802	24,33	60,20	26,34	3,91	-0,20	24,93
BO0803	37,54	325,05	48,37	4,54	-0,19	48,63
BO0804	33,96	106,82	37,52	4,32	-0,21	37,41
BO0805	37,07	458,13	52,34	4,71	-0,22	51,89
BO0901	48,39	55,21	50,23	4,04	-0,04	50,34
BO0902	36,57	52,18	38,31	4,01	-0,11	37,38
BO0903	46,01	174,14	51,82	4,23	-0,08	51,71
BO0904	47,20	32,06	48,27	4,01	-0,04	48,40
BO0905						
BO1001	51,83	35,83	53,02	4,03	-0,02	53,04

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-16

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
BO1002	901105	11,7	7,6	9,6	60	55	0,12	2,30	5,38	
BO1003	910819	3,2	4,9	4,0	70	55	0,43	30,00	35,00	
BO1004	920202	11,9	14,9	13,4	70	55		5,00	7,30	
BO1005	920817	3,6	5,6	4,6	70	55				
BO1101	900813	1,7	1,2	1,5	70	55		21,00		
BO1102	901102	14,6	8,8	11,7	60	55	0,13	2,26	3,36	
BO1103	920819	1,5	2,9	2,2	60	55				
BO1104	920202	13,9	10,4	12,2	60	55				
BO1105	920818	4,9	3,0	3,9	60	55				
BO12	910610	2,1	2,8	2,4	60	55	0,02	1,50	3,00	
BO13	910610	1,0	2,1	1,6	60	55	0,01	1,30	2,30	1,05
BO14	910610	2,3	4,3	3,3	60	55	0,12	13,00	17,45	
GA01	910706	3,6	11,2	7,4	40	55				
GA02	910705	3,6	14,8	9,2	40	55		50,00		
GA02B	910707	2,3	17,5	9,9	40	55		24,00		4,00
GA03	910706	2,3	13,8	8,1	40	55				
GA10	910501	3,3	6,4	4,9	44	55	0,00	11,00	12,30	
GA11	910705	4,5	8,4	6,5	60	55	0,14	13,30		
GA12	910706	1,4	6,8	4,1	60	55	0,06	7,00		3,00
GA13	910705	3,1	7,1	5,1	60	55	0,00	14,30		
GA20	910705	8,4	12,0	10,2	60	55		21,00		
GA21	910706	4,6	11,7	8,2	60	55		8,00		
GA22	910707	2,7	10,2	6,4	60	55		9,00		7,30
GA22P	910707	2,7	0,0	1,3	60	55	0,16	5,00	6,06	
GA30S	910707	2,2	8,4	5,3	60	55		5,00	6,06	
GA31	910701	0,0	0,0	0,0	60	55		5,00	6,06	
GA32	910707	3,4	7,2	5,3	60	55	0,07	6,00		
GA40	910705	10,2	12,5	11,3	60	55	0,17	0,00		
GA41	910705	11,7	12,0	11,8	60	55		25,00		
GA42	910706	2,6	13,6	8,1	60	55		14,00		
GA50	910501	3,2	4,5	3,9	60	55	0,18	2,39	4,48	
GA51	910501	4,6	7,3	5,9	60	55	0,37	6,20	12,00	6,00
GA52	910706	4,1	7,2	5,7	60	55	0,15	4,20		
GA60	910714	3,2	7,5	5,3	60	110	0,00			
GA61	910714	2,5	7,9	5,2	60	110	0,05			
GA62	910714	3,0	5,8	4,4	60	110	0,03			
GE0101	900311	9,4	5,1	7,2	30	55	0,00	1,00		
GE0102	900505	13,9	16,9	15,4	30	55	0,00	0,50	0,55	
GE0103	900722	0,6	1,7	1,2	30	55	0,03	2,40	3,30	
GE0104	901104	2,7	7,1	4,9	40	55	0,01	1,03	1,30	
GE0201	900311	4,0	6,0	5,0	31	55	0,01	1,50	0,00	
GE0202	900505	12,8	12,6	12,7	30	55	0,00	1,15	1,38	
GE0203	900721	0,7	1,3	1,0	30	55	0,03	2,50	3,15	
GE0204	901104	2,2	8,8	5,5	40	55	0,01	2,01	3,45	
GE0301	900311	4,1	7,7	5,9	30	55	0,03	1,10		
GE0302	900421	0,7	5,5	3,1	30	55	0,02	2,50	4,30	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-17

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
BO1002	10,00	0,75	6,23	0,11	0,17	0,04	0,01	44,72	0,01
BO1003	40,30	0,66	0,67	0,01	0,03	0,54	36,44	53,37	39,76
BO1004	9,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1005			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1101			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1102	8,30	0,50	1,05	0,02	0,02	0,14	3,41	53,71	3,73
BO1103			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1104			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO1105			0,00	0,00	0,00			55,00	
BO12	4,55	1,33	24,75	0,46	0,58	0,15	5,16	23,90	5,63
BO13	3,25	2,50	33,09	0,63	0,75	0,28	1,97	17,98	2,15
BO14	21,30	1,66	2,34	0,04	0,08	0,23	18,96	51,05	20,68
GA01			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA02			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA02B			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA03			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA10	13,30	0,16	0,44	0,01	0,01				
GA11	20,00	0,66	1,66	0,03	0,05	0,81	18,33	52,45	20,00
GA12	12,00	1,00	10,98	0,20	0,32	0,07	7,57	37,69	8,26
GA13	28,00	0,16	0,38	0,01	0,01				
GA20			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA21			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA22	27,00	0,91	0,82	0,01	0,03			55,00	
GA22P	7,00	1,75	7,09	0,13	0,21	0,02	4,99	35,12	5,45
GA30S	7,00	1,75	0,00	0,00	0,00			55,00	
GA31	7,00	1,75	0,00	0,00	0,00			55,00	
GA32	11,00	1,66	1,88	0,03	0,13	4,69	10,08	52,15	11,00
GA40	17,00	1,50	1,24	0,02	0,03	1,18	15,58	53,28	16,99
GA41	30,00	0,73	1,11	0,02	0,04			55,00	
GA42			0,00	0,00	0,00			55,00	
GA50	12,00	0,28	0,83	0,02	0,03	0,12	5,34	53,86	5,83
GA51	24,00	0,16	0,69	0,01	0,03	0,11	21,92	53,50	23,91
GA52	14,00	1,00	4,44	0,08	0,16	0,04	13,77	43,07	15,02
GA60	5,30		0,46	0,00	0,00				
GA61	4,00		1,18	0,01	0,01	0,59	7,16	108,71	3,91
GA62	4,00		0,45	0,00	0,00	0,27	6,51	109,47	3,55
GE0101	2,30	2,00	41,58	0,76	0,84	0,92	2,28	7,96	2,49
GE0102	1,00	2,25	45,39	0,83	0,92	0,52	0,96	4,60	1,05
GE0103	4,00	1,33	12,41	0,23	0,32	0,15	2,60	36,88	2,83
GE0104	4,00	1,66	24,87	0,45	0,56	0,27	3,35	24,51	3,66
GE0201	3,00	1,23	32,69	0,59	0,73	0,42	2,52	16,02	2,75
GE0202	2,00	2,10	36,65	0,67	0,73	1,54	1,82	14,94	1,99
GE0203	4,15	1,58	12,85	0,23	0,35	0,15	3,55	35,07	3,88
GE0204	4,05	1,50	27,85	0,51	0,60	0,53	3,44	22,54	3,75
GE0301	3,00	1,00	17,20	0,31	0,47	0,10	0,05	29,19	0,06
GE0302	6,15	0,98	8,01	0,15	0,19	0,90	5,71	44,40	6,23

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-18

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
BO1002	55	74,99	13,05	25,23	36,94	48,41	0,05	0,08
BO1003	>100000	41,84	13,75	27,50	41,14	54,49	0,00	0,00
BO1004			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1005			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1101			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1102	56	10,11	13,62	27,08	40,51	53,94	0,01	0,02
BO1103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1104			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO1105			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
BO12	97	37,68	11,28	17,94	23,99	29,97	0,18	0,35
BO13	85	21,21	7,67	12,22	16,71	21,21	0,44	0,56
BO14	517	29,55	13,75	27,11	39,90	52,66	0,00	0,01
GA01			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA02			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA02B			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA03			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA10								
GA11	>100000	21,95	13,75	27,11	40,22	53,33	0,00	0,01
GA12	69	62,38	13,30	24,32	34,29	43,91	0,03	0,12
GA13								
GA20			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA21			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA22								
GA22P	57	196,80	13,42	25,65	36,94	47,55	0,02	0,07
GA30S			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA31			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA32	>100000	11,36	13,56	26,60	39,63	52,67	0,01	0,03
GA40	>100000	17,99	13,75	27,14	40,46	53,78	0,00	0,01
GA41								
GA42			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GA50	56	12,21	13,68	27,18	40,65	54,12	0,01	0,01
GA51	76	33,04	13,75	27,45	40,91	54,30	0,00	0,00
GA52	64	103,78	13,75	26,76	38,81	50,30	0,00	0,03
GA60								
GA61	121	4,20	27,29	54,46	81,64	108,82	0,01	0,01
GA62	111	0,91	27,42	54,79	82,16	109,53	0,00	0,00
GE0101	468	9,45	4,38	6,37	8,35	10,34	0,68	0,77
GE0102	91	14,56	3,26	4,41	5,56	6,71	0,76	0,84
GE0103	65	28,99	11,65	21,14	30,39	39,61	0,15	0,23
GE0104	107	21,33	9,52	15,72	21,84	27,97	0,31	0,43
GE0201	141	15,70	6,99	11,00	15,00	19,01	0,49	0,60
GE0202	865	5,62	5,24	8,97	12,70	16,44	0,62	0,67
GE0203	70	31,62	11,75	20,89	29,70	38,48	0,15	0,24
GE0204	259	13,14	8,41	14,05	19,69	25,32	0,39	0,49
GE0301	55	46,27	10,55	18,61	26,09	33,43	0,23	0,32
GE0302	2886	9,77	12,31	23,41	34,51	45,61	0,10	0,15

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-19

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
BO1002	0,10	0,12	0,32	0,35	2,00	0,00	51	0,22
BO1003	0,00	0,01	0,36	0,05	0,24			
BO1004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1005	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1101	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1102	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	35	-0,63
BO1103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1104	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO1105	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
BO12	0,42	0,46	10,38	61,13	256,82	-0,10		
BO13	0,59	0,61	10,84	79,41	358,74	-0,04	119	-2,61
BO14	0,03	0,04	1,63	0,90	3,82	-0,06		
GA01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA02B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA10			5,71	0,45	2,53	-0,13	55	-0,44
GA11	0,02	0,03	2,92	1,16	4,84	-0,01		
GA12	0,17	0,20	14,70	38,75	161,45	-0,02		
GA13			11,57	1,06	4,40	0,11		
GA20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA22								
GA22P	0,10	0,14	21,04	35,74	149,13	-0,31		
GA30S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA32	0,04	0,04	1,55	0,70	2,91	-0,03		
GA40	0,02	0,02	0,42	0,12	0,52	-0,02		
GA41			0,02	0,01	0,03	0,00		
GA42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GA50	0,01	0,02	4,94	0,97	4,10	-0,19	85	-2,34
GA51	0,01	0,01	0,74	0,12	0,51	-0,03	40	-1,10
GA52	0,06	0,09	4,61	4,92	20,49	-0,10		
GA60			0,29	0,03	0,13	0,00		
GA61	0,01	0,01	0,19	0,05	0,22	0,00		
GA62	0,00	0,00	0,00	0,05	0,22	0,00		
GE0101	0,80	0,81	0,50	2,49	20,99	-0,01	550	-0,78
GE0102	0,87	0,88	1,46	7,87	66,35	-0,06	486	-1,15
GE0103	0,26	0,28	0,70	1,02	8,63	-0,04	188	-4,03
GE0104	0,47	0,49	0,58	2,27	14,34	-0,01	57	-1,36
GE0201	0,64	0,65	0,61	2,27	19,78	0,00	577	-4,49
GE0202	0,69	0,70	1,16	4,70	42,40	-0,08	490	-0,05
GE0203	0,28	0,30	0,78	1,11	10,04	0,00	182	-3,10
GE0204	0,52	0,54	0,51	2,08	14,10	-0,01	63	-1,30
GE0301	0,37	0,39	0,67	1,41	11,44	-0,03	561	-1,94
GE0302	0,16	0,17	1,83	1,86	14,67	0,07	434	-2,06

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-20

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
BO1002	44,95	69,69	47,27	4,09	-0,07	47,60
BO1003	53,22	13,15	53,66	3,99	0,00	53,57
BO1004						
BO1005						
BO1101						
BO1102	53,60	5,17	53,77	4,00	0,00	53,81
BO1103						
BO1104						
BO1105						
BO12	18,42	207,16	25,32	4,32	-0,31	26,22
BO13	15,09	78,35	17,70	3,71	-0,24	18,08
BO14	49,41	71,41	51,79	4,07	-0,04	51,79
GA01						
GA02						
GA02B						
GA03						
GA10	54,68	-8,66	54,40	3,97	0,01	54,38
GA11	51,78	26,59	52,67	4,01	-0,01	52,69
GA12	35,09	184,66	41,25	4,29	-0,16	41,78
GA13	54,52	-9,72	54,19	3,98	0,00	54,20
GA20						
GA21						
GA22						
GA22P	41,86	111,64	45,59	4,28	-0,13	46,26
GA30S						
GA31						
GA32	49,03	87,93	51,96	4,25	-0,08	52,43
GA40	52,93	11,77	53,32	4,00	-0,01	53,35
GA41						
GA42						
GA50	53,83	3,07	53,93	4,00	0,00	53,93
GA51	52,56	50,27	54,24	4,07	-0,02	54,22
GA52	42,36	207,25	49,27	4,41	-0,15	49,90
GA60	53,83	3,07	53,93	4,00	0,00	53,93
GA61	108,68	1,30	108,72	4,69	0,00	108,74
GA62	109,42	1,61	109,47	4,70	0,00	109,48
GE0101	4,59	54,49	6,40	2,79	-0,25	6,97
GE0102	0,42	65,70	2,61	3,67	-0,74	3,20
GE0103	35,11	71,62	37,50	4,14	-0,16	36,22
GE0104	19,59	118,21	23,53	4,10	-0,28	23,59
GE0201	10,98	93,98	14,12	3,95	-0,39	13,64
GE0202	12,19	36,81	13,42	3,23	-0,19	13,22
GE0203	32,13	103,77	35,59	4,29	-0,22	34,20
GE0204	18,57	82,50	21,32	3,77	-0,21	21,58
GE0301	30,03	67,86	32,29	4,12	-0,21	30,41
GE0302	43,12	27,11	44,02	3,89	-0,03	44,06

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-21

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
GE0303	900721	0,7	0,6	0,6	30	55		7,30		
GE0304	901104	2,1	5,6	3,8	40	55	0,01	3,14	3,43	
GE0401	900311	18,4	16,0	17,2	30	55	0,01	1,10		
GE0402	900505	2,2	9,7	6,0	30	55	0,02	3,50	4,34	3,55
GE0403	900721	0,6	1,6	1,1	90	55	0,06	4,50	14,00	5,00
GE0404	901104	7,3	9,1	8,2	40	55	0,01	1,20	2,30	6,00
GE0501	900311	11,2	18,0	14,6	31	55	0,03	2,10		
GE0502	900427	15,9	9,4	12,7	80	55	0,57	20,00	25,00	
GE0503	900720	3,1	4,4	3,8	60	120	0,07	19,00		
GE0504	901104	13,0	16,9	14,9	51	55	0,04	3,00		
GE0505	910722	3,1	4,4	3,8	51	55				
GE0601	900311	21,2	18,0	19,6	30	55	0,00			
GE0602	900427	20,1	12,7	16,4	93	55	0,32	18,00	19,00	
GE0603	900720	4,1	5,1	4,6	93	120	0,00	10,00		
GE0604	901104	21,0	17,1	19,1	60	55	0,00			
GE0605	910722	4,1	5,1	4,6	60	55				
GE0701	900311	13,1	19,4	16,2	30	55	0,01	4,00		
GE0702	900505	14,8	22,2	18,5	36	55	0,02	2,50	3,15	
GE0703	900721	2,1	6,0	4,0	60	55	0,13	10,00	19,00	
GE0704	901104	10,6	13,3	12,0	40	55	0,01	1,40	2,00	
GE10	910511	1,8	4,3	3,0	35	55	0,01	2,20	2,45	
GE11	910511	3,6	6,7	5,2	44	55	0,04	5,30	8,45	
GE12	910511	3,9	6,5	5,2	35	55	0,07	1,37	6,49	
GE13	910511	3,0	6,0	4,5	38	55	0,01	3,15	3,50	
GE14	910511	4,0	6,2	5,1	66	55	0,24	6,10		
GE15	910511	1,5	6,5	4,0	66	55	0,12	9,26	10,40	
GE16	910511	1,7	6,5	4,1	56	55	0,10	8,14	10,43	
GE17	910511	1,9	4,7	3,3	30	55	0,02	4,40	5,00	
GE18	910512	2,1	3,2	2,7	30	55				
GE18P	910511	16,2	15,3	15,8	30	55	0,02	1,56	2,32	
GE19	910511	2,7	4,2	3,5	30	55	0,02	4,40	5,00	
GE20	910512	2,1	1,9	2,0	21	55				
GE20P	910512	12,3	14,2	13,2	21	55	0,01	0,50	0,60	
GE21	910512	2,2	4,2	3,2	30	55	0,01	3,00	4,03	
GE22	910512	0,6	5,7	3,2	30	55	0,01	2,45	2,57	
GE23	910512	2,0	6,1	4,0	66	55	0,03	4,11	4,33	
GE24	910512	1,3	5,4	3,3	41	55	0,05	3,56	4,27	
GE25	910512	0,8	4,2	2,5	64	55	0,00	11,11	11,50	
GE26	910512	0,9	4,2	2,5	45	55	0,06	8,21	16,30	
GE27	910512	0,9	5,3	3,1	36	55	0,03	10,07	10,59	
GE28	910512	4,3	5,4	4,9	36	55				
GE29	910511	2,5	7,0	4,8	30	55	0,02	3,42	4,44	
GE30	910512	0,8	4,2	2,5	64	55	0,00	11,11	11,50	
GE31	910513	2,1	4,1	3,1	64	55				
GE32	910512	1,3	5,4	3,3	41	55	0,05	3,56	4,27	
GE33	910512	1,3	5,4	3,3	41	55				

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-22

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
GE0303			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE0304	6,30	1,16	11,53	0,21	0,30	1,53	5,89	41,20	6,43
GE0401	4,00	1,75	18,07	0,33	0,41	1,24	3,65	33,57	3,98
GE0402	5,00	3,33	14,76	0,27	0,41	0,23	4,59	33,49	5,00
GE0403	17,00	1,83	4,31	0,08	0,14	3,04	15,63	49,61	17,05
GE0404	4,00	1,33	17,19	0,31	0,35	0,42	3,39	34,55	3,70
GE0501	4,00	1,31	3,36	0,06	0,09	0,54	3,41	50,77	3,72
GE0502	28,00	2,00	2,25	0,04	0,10	0,01	21,30	31,99	23,23
GE0503	21,00	2,00	3,59	0,03	0,05	0,42	41,33	114,12	20,66
GE0504	4,00	0,83	7,82	0,14	0,17	0,14	0,08	45,66	0,09
GE0505			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE0601	7,00	1,83	2,37	0,04	0,06				
GE0602	20,00	1,50	2,62	0,05	0,08	0,03	11,21	49,77	12,23
GE0603			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE0604	4,00	1,00	2,45	0,04	0,05				
GE0605			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE0701	5,00	0,91	6,82	0,12	0,15	1,46	4,58	46,49	5,00
GE0702	3,20	0,51	7,52	0,14	0,16	0,51	2,45	46,22	2,67
GE0703	24,00	1,75	2,19	0,04	0,08	0,20	20,64	50,85	22,51
GE0704	2,30	0,83	7,92	0,14	0,16	5,56	2,29	46,91	2,50
GE10	4,10	0,66	14,30	0,26	0,31	0,47	3,42	37,54	3,74
GE11	8,45	1,00	6,57	0,12	0,17	0,20	7,40	45,65	8,07
GE12	7,45	1,50	5,65	0,10	0,19	0,07	5,81	42,85	6,33
GE13	4,16	0,75	17,86	0,32	0,34	1,01	3,83	34,37	4,18
GE14	7,00	0,92	2,39	0,04	0,06	0,04	5,23	50,58	5,71
GE15	11,00	0,66	1,51	0,03	0,04	0,36	9,61	53,11	10,49
GE16	11,00	0,67	3,15	0,06	0,09	0,11	9,40	49,94	10,25
GE17	5,20	1,16	7,04	0,13	0,17	0,54	4,89	45,66	5,33
GE18			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE18P	2,55	1,16	24,98	0,46	0,66	0,15	2,07	20,07	2,26
GE19	6,00	1,16	4,08	0,07	0,10	1,18	5,51	49,52	6,01
GE20			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE20P	1,52	1,80	26,09	0,50	0,67	0,31	1,83	17,94	2,00
GE21	6,36	1,15	7,38	0,13	0,16	2,29	6,05	45,25	6,60
GE22	3,02	2,16	20,79	0,38	0,49	0,31	2,52	29,08	2,75
GE23	8,00	0,96	7,87	0,17	0,24	0,31	7,09	43,41	7,73
GE24	8,35	1,25	5,24	0,10	0,14	0,18	7,92	47,10	8,64
GE25	22,37	0,47	1,12	0,02	0,03				
GE26	17,16	1,37	3,08	0,06	0,08	0,95	15,83	49,86	17,27
GE27	11,15		7,87	0,14	0,22	0,20	9,22	41,27	10,06
GE28			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE29	5,18	1,16	12,29	0,22	0,33	0,21	3,97	37,41	4,34
GE30	22,37	0,47	1,11	0,02	0,03				
GE31			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE32	8,35	1,25	5,24	0,10	0,14	0,18	7,92	47,10	8,64
GE33			0,00	0,00	0,00			55,00	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-23

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
GE0303			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE0304	>100000	8,72	11,80	22,10	32,40	42,70	0,14	0,20
GE0401	2979	7,33	9,95	18,35	26,74	35,13	0,28	0,33
GE0402	100	23,47	11,44	19,95	28,33	36,70	0,17	0,27
GE0403	>100000	17,84	13,75	26,34	38,74	51,15	0,00	0,04
GE0404	132	13,35	10,53	19,17	27,81	36,45	0,23	0,30
GE0501	83	7,63	13,05	25,74	38,44	51,13	0,05	0,06
GE0502	58	790,72	13,75	27,44	40,74	53,61	0,00	0,00
GE0503	33958	24,58	30,00	59,27	87,80	116,33	0,00	0,01
GE0504	55	22,25	12,36	23,89	35,33	46,74	0,10	0,13
GE0505			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE0601								
GE0602	57	100,21	13,74	27,17	40,27	53,16	0,00	0,01
GE0603			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE0604								
GE0605			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE0701	12420	6,99	12,37	24,00	35,62	47,24	0,10	0,13
GE0702	81	8,40	12,16	23,71	35,27	46,82	0,12	0,14
GE0703	396	33,21	13,75	27,23	40,01	52,72	0,00	0,01
GE0704	>100000	3,01	12,01	23,73	35,46	47,19	0,13	0,14
GE10	137	11,95	10,94	20,33	29,71	39,10	0,20	0,26
GE11	92	23,28	13,20	24,78	36,20	47,62	0,04	0,10
GE12	62	54,51	13,27	24,98	36,04	46,88	0,04	0,09
GE13	1466	8,21	10,20	18,79	27,39	35,98	0,26	0,32
GE14	56	63,77	13,63	26,87	39,85	52,68	0,01	0,02
GE15	133	14,04	13,67	26,96	40,24	53,51	0,01	0,02
GE16	65	31,64	13,65	26,48	39,04	51,54	0,01	0,04
GE17	207	10,97	12,45	23,87	35,29	46,70	0,09	0,13
GE18			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE18P	69	36,06	9,35	14,82	19,88	24,91	0,32	0,46
GE19	6668	8,05	12,97	25,35	37,73	50,11	0,06	0,08
GE20			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE20P	87	18,94	7,36	11,88	16,36	20,85	0,46	0,57
GE21	>100000	7,94	12,36	23,67	34,99	46,30	0,10	0,14
GE22	89	17,41	9,62	16,92	24,19	31,46	0,30	0,38
GE23	166	18,49	12,82	23,74	34,59	45,44	0,07	0,14
GE24	86	24,04	13,36	25,33	37,11	48,89	0,03	0,08
GE25								
GE26	>100000	19,72	13,75	26,46	38,92	51,38	0,00	0,04
GE27	145	27,51	13,27	23,95	34,28	44,60	0,04	0,13
GE28			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE29	81	22,80	11,75	21,23	30,59	39,94	0,15	0,23
GE30								
GE31			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE32	86	24,03	13,36	25,33	37,11	48,89	0,03	0,08
GE33			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-24

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
GE0303	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE0304	0,21	0,22	1,50	2,94	17,33	0,00	61	-2,80
GE0401	0,35	0,36	0,22	0,61	3,90	0,01	142	-1,52
GE0402	0,31	0,33	0,89	2,04	13,10	-0,09	433	-1,62
GE0403	0,06	0,07	0,47	0,95	2,04	-0,01	148	-1,82
GE0404	0,33	0,34	4,14	14,81	71,25	0,06	51	-0,09
GE0501	0,07	0,07	0,25	0,12	0,85	-0,01	174	-2,72
GE0502	0,01	0,03	0,63	0,52	1,41	0,00	493	-1,35
GE0503	0,02	0,03	0,28	0,28	1,00	0,00	205	-3,21
GE0504	0,14	0,15	0,46	0,84	3,57	-0,02	62	-2,38
GE0505	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE0601								
GE0602	0,02	0,03	0,28	0,31	0,74	0,00	576	-0,96
GE0603	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE0604			0,21	0,14	0,51	0,00	58	0,28
GE0605	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE0701	0,14	0,14	0,22	0,15	1,51	-0,01	126	-0,87
GE0702	0,15	0,15	0,24	0,22	1,77	0,00	478	-2,00
GE0703	0,03	0,04	0,43	0,19	0,95	-0,01	184	-0,63
GE0704	0,14	0,14	0,24	0,26	1,90	-0,01	64	-0,45
GE10	0,28	0,29	1,69	3,34	24,17	-0,10		
GE11	0,12	0,13	1,58	1,73	10,36	-0,06		
GE12	0,13	0,15	2,26	1,66	12,76	-0,03		
GE13	0,34	0,35	1,89	4,68	33,73	0,04		
GE14	0,03	0,04	1,71	1,00	4,08	-0,05		
GE15	0,02	0,03	2,52	0,98	3,81	-0,09		
GE16	0,05	0,06	1,95	1,27	6,15	0,02		
GE17	0,14	0,15	0,98	0,81	6,89	-0,06		
GE18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE18P	0,52	0,55	4,36	13,13	109,00	-0,02		
GE19	0,09	0,09	1,53	0,84	6,22	-0,08		
GE20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE20P	0,60	0,62	9,03	19,27	235,47	-0,21		
GE21	0,15	0,16	1,87	1,64	13,77	-0,03		
GE22	0,41	0,43	0,71	1,66	14,76	0,01		
GE23	0,16	0,17	1,45	2,79	11,41	0,01		
GE24	0,10	0,11	3,42	2,75	17,91	-0,19		
GE25			1,68	0,45	1,87	0,03		
GE26	0,06	0,07	1,54	0,75	4,74	0,01		
GE27	0,17	0,19	0,91	1,00	7,16	-0,10		
GE28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE29	0,26	0,27	0,73	0,99	9,03	-0,04		
GE30			3,96	1,06	4,39	-0,10		
GE31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE32	0,10	0,11	2,16	1,74	11,33	-0,08		
GE33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
GE0303						
GE0304	39,39	32,42	40,47	3,88	-0,05	40,29
GE0401	30,82	43,05	32,26	3,80	-0,10	31,82
GE0402	27,82	132,20	32,23	4,32	-0,26	31,33
GE0403	46,77	127,69	51,02	4,18	-0,07	51,39
GE0404	31,88	57,52	33,80	3,85	-0,09	34,02
GE0501	50,07	12,18	50,48	3,99	-0,02	50,24
GE0502	46,44	243,56	54,56	4,35	-0,10	54,35
GE0503	112,52	70,16	114,86	4,80	-0,02	114,86
GE0504	45,18	23,67	45,97	3,96	-0,04	46,03
GE0505						
GE0601	51,78	0,31	51,79	3,95	0,00	51,77
GE0602	49,61	93,98	52,74	4,11	-0,04	52,84
GE0603						
GE0604	52,56	-4,32	52,42	3,94	0,00	52,37
GE0605						
GE0701	45,77	12,53	46,19	3,89	-0,02	46,09
GE0702	45,55	13,51	46,00	3,91	-0,03	45,83
GE0703	48,97	89,51	51,95	4,10	-0,05	51,95
GE0704	46,13	6,75	46,35	3,89	-0,02	46,17
GE10	35,14	49,92	36,80	3,92	-0,10	36,57
GE11	43,55	69,84	45,88	4,05	-0,07	46,03
GE12	42,06	103,09	45,50	4,24	-0,13	45,20
GE13	33,16	27,15	34,07	3,61	-0,02	34,46
GE14	50,96	34,64	52,12	4,07	-0,03	52,36
GE15	52,84	10,73	53,20	4,00	-0,01	53,25
GE16	48,62	61,94	50,69	4,09	-0,05	50,87
GE17	43,83	35,85	45,02	3,98	-0,05	44,84
GE18						
GE18P	16,79	121,90	20,85	4,38	-0,42	19,33
GE19	48,70	15,38	49,21	3,96	-0,02	49,15
GE20						
GE20P	11,87	99,24	15,18	4,25	-0,50	13,07
GE21	46,98	-25,03	46,14	3,69	0,05	46,51
GE22	25,14	79,38	27,78	4,05	-0,23	26,66
GE23	41,49	64,83	43,66	3,98	-0,06	43,95
GE24	44,70	77,19	47,28	4,11	-0,07	47,39
GE25	53,04	8,21	53,31	3,99	0,00	53,33
GE26	49,26	21,68	49,98	3,96	-0,01	49,98
GE27	36,59	144,87	41,42	4,27	-0,16	41,38
GE28						
GE29	33,99	86,71	36,88	4,15	-0,17	36,00
GE30	53,05	8,24	53,33	3,99	0,00	53,34
GE31						
GE32	44,70	77,17	47,27	4,11	-0,07	47,39
GE33						

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-26

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
GE34	910513	1,2	2,1	1,7	100	55	0,07	4,00	6,50	
GE35	910512	2,0	6,1	4,0	66	55	0,03	4,11	4,33	
GE36	910513	1,6	5,4	3,5	35	55	0,01	2,20	2,45	
GE37	910513	0,9	7,9	4,4	20	55	0,01	1,50	2,10	
GE37P	910512	12,3	14,2	13,2	21	55	0,00	0,50	0,60	
GE38	910511	2,0	5,0	3,5	33	55	0,02	5,30	5,41	
GE39	910513	2,6	3,2	2,9	33	55				
GE40	910612	2,4	4,5	3,5	60	55	0,07	5,87	9,14	
GE41	910612	3,0	4,7	3,8	60	55	0,12	8,43	14,54	
GE42	910612	1,4	3,2	2,3	60	55	0,03	2,43	3,50	
GE47	910611	4,5	6,5	5,5	60	55				
GE48	910611	3,2	4,6	3,9	60	55	0,18	12,43	20,32	
GE49	910611	1,1	3,4	2,3	60	55	0,05	5,43	9,32	
GE50	910809	2,1	3,1	2,6	30	55	0,05	4,30	5,00	
GE51	910809	2,1	4,6	3,3	30	55	0,03	3,10	4,40	
GE52	910809	1,1	2,9	2,0	30	55	0,02	1,20	2,10	
GE52P	910810	20,2	10,3	15,3	30	55	0,01	2,10	2,55	
GE53	910728	0,9	2,3	1,6	30	55	0,02	3,50	4,40	
GE53P	910810	21,2	14,1	17,7	30	55	0,02	2,00	2,10	
GE54	910728	2,1	4,9	3,5	30	55				
GE55	910728	1,5	3,5	2,5	30	55				
GE56	910827	2,3	5,2	3,8	60	55	0,18	10,30	15,30	
GE57	910827	2,3	3,7	3,0	60	55				
GE60	910728	2,4	4,0	3,2	30	55	0,01	5,20	4,10	
GE61	910728	2,1	4,3	3,2	60	55	0,66	2,20	3,10	
GE61B	910728	21,0	14,0	17,5	60	55	0,15	2,20	3,10	
GE62	910810	2,1	3,7	2,9	60	55	1,60	23,30	44,00	
GE62B	910811	19,0	13,9	16,5	60	55	0,19	3,29	4,00	
GE63	910810	2,2	3,9	3,0	60	55	0,27	8,00	15,00	
GE64	910721	2,0	3,8	2,9	60	55				
GE65	910721	2,9	4,0	3,4	60	55				
GE66	910721	1,0	4,1	2,6	60	55				
GE67	910729	1,5	3,7	2,6	60	55	0,23	21,00	28,00	
GE70	910810	2,1	3,8	2,9	60	55	0,29	10,12	15,10	
GE70B	910811	23,1	18,1	20,6	30	55	0,02	2,15	2,10	
GE71	910810	3,2	3,5	3,3	60	55	0,18	8,10	15,10	
GE71B	910810	21,8	13,3	17,5	60	55	0,07	3,10	4,20	
GE72	910721	2,1	3,7	2,9	60	55				
GE73	910721	2,0	4,0	3,0	60	55				
GE74	910708	2,2	4,0	3,1	60	55				
GE75	910708	1,9	3,5	2,7	60	55				
GE76	910726	2,1	4,5	3,3	60	55	0,35	1,30	21,30	
GE77	910708	1,7	4,0	2,9	60	55				
GE78	910721	0,6	1,6	1,1	30	55	0,04	4,50	14,00	5,00
GE79	910708	2,2	4,0	3,1	30	55				
GE80	910709	1,0	4,0	2,5	30	55				

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-27

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
GE34	9,00	3,16	14,74	0,27	0,36	0,06	6,84	35,26	7,46
GE35	8,00	0,96	7,48	0,16	0,24	0,37	7,17	44,03	7,83
GE36	4,10	0,66	7,88	0,14	0,18	1,59	3,69	45,68	4,04
GE37	3,40	1,33	15,54	0,30	0,44	0,38	3,17	31,03	3,46
GE37P	1,52	1,80	29,46	0,56	0,69	1,00	1,75	18,66	1,91
GE38	5,48	2,70	19,11	0,35	0,49	0,23	5,01	28,23	5,47
GE39			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE40	14,35	1,05	5,86	0,11	0,18	0,12	12,56	45,84	13,70
GE41	21,02	0,50	2,18	0,04	0,07	0,47	19,23	51,50	20,97
GE42	5,30	1,71	18,72	0,35	0,48	0,13	5,90	30,35	6,43
GE47			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE48	28,05	0,25	1,49	0,03	0,06	0,42	25,71	52,01	28,04
GE49	14,00	0,75	11,27	0,21	0,35	0,09	12,15	36,15	13,25
GE50	6,00	0,31	3,51	0,06	0,10	0,26	5,24	49,96	5,71
GE51	5,30	1,25	5,62	0,11	0,16	0,35	5,07	47,26	5,54
GE52	2,50	0,66	8,56	0,16	0,22	0,24	2,79	43,83	3,04
GE52P	3,00	1,33	14,39	0,27	0,37	0,86	2,82	38,22	3,08
GE53	6,10		15,68	0,29	0,48	0,14	5,98	26,70	6,52
GE53P	2,50	1,15	14,93	0,28	0,41	0,17	2,01	34,99	2,19
GE54			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE55			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE56	21,30	0,70	1,57	0,03	0,05	0,16	18,99	52,15	20,71
GE57			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE60	4,45	1,66	15,35	0,29	0,42	0,80	4,27	35,91	4,66
GE61	10,00	0,66	3,45	0,06	0,12			47,43	
GE61B	5,00	0,66	5,20	0,09	0,15	0,04	4,48	45,12	4,89
GE62	49,30	0,25	0,09	0,00	0,01	0,00	40,54	32,89	44,22
GE62B	4,30	0,31	4,26	0,08	0,12	0,03	4,27	46,21	4,66
GE63	21,30	0,50	0,99	0,02	0,03	0,14	18,78	53,16	20,49
GE64			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE65			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE66			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE67	35,00	0,50	1,07	0,02	0,06	0,12	32,37	51,13	35,31
GE70	21,00	0,65	2,44	0,04	0,11	0,01	20,16	37,87	21,99
GE70B	2,30	0,65	9,50	0,17	0,22	0,33	1,68	43,79	1,83
GE71	19,00	0,50	2,72	0,05	0,11	0,04	17,71	47,39	19,32
GE71B	13,00	0,75	9,38	0,17	0,28	0,07	12,11	38,14	13,21
GE72			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE73			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE74			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE75			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE76	30,00		0,71	0,01	0,03	0,35	27,19	53,46	29,66
GE77			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE78	17,00	1,05	3,09	0,06	0,16	0,45	15,40	46,36	16,80
GE79			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE80			0,00	0,00	0,00			55,00	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-28

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
GE34	65	79,94	13,24	24,20	33,94	43,16	0,04	0,12
GE35	236	16,61	12,82	23,85	34,86	45,87	0,07	0,13
GE36	5606	5,93	12,08	23,50	34,92	46,34	0,12	0,14
GE37	120	14,92	9,98	17,74	25,50	33,26	0,27	0,35
GE37P	263	7,20	6,15	10,81	15,48	20,14	0,55	0,61
GE38	124	24,97	11,00	18,23	25,30	32,36	0,20	0,34
GE39			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE40	94	38,49	13,72	26,03	37,63	49,11	0,00	0,05
GE41	66187	25,06	13,75	27,07	39,95	52,82	0,00	0,02
GE42	85	41,56	12,25	20,73	28,46	36,07	0,11	0,25
GE47			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE48	>100000	32,23	13,75	27,46	40,50	53,50	0,00	0,00
GE49	97	58,05	13,68	24,86	34,47	43,66	0,00	0,10
GE50	72	14,71	13,23	25,75	38,24	50,73	0,04	0,06
GE51	101	13,55	12,82	24,65	36,46	48,27	0,07	0,10
GE52	67	16,63	12,17	23,17	34,13	45,09	0,11	0,16
GE52P	272	7,50	10,62	20,17	29,73	39,28	0,23	0,27
GE53	98	39,34	11,91	19,40	26,17	32,85	0,13	0,29
GE53P	64	25,52	11,04	19,97	28,73	37,47	0,20	0,27
GE54			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE55			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE56	130	31,36	13,75	27,27	40,36	53,41	0,00	0,01
GE57			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE60	833	9,63	10,69	19,67	28,64	37,62	0,22	0,28
GE61								
GE61B	57	88,44	13,45	26,01	38,03	49,73	0,02	0,05
GE62	57	2117,89	13,75	27,50	41,25	54,90	0,00	0,00
GE62B	56	99,20	13,51	26,31	38,65	50,70	0,02	0,04
GE63	84	29,48	13,75	27,36	40,70	54,00	0,00	0,01
GE64			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE65			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE66			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE67	303	52,42	13,75	27,50	40,97	53,89	0,00	0,00
GE70	61	295,22	13,75	27,36	40,26	52,51	0,00	0,01
GE70B	64	11,55	11,75	22,71	33,65	44,60	0,15	0,17
GE71	65	83,06	13,75	27,20	39,91	52,20	0,00	0,01
GE71B	82	65,80	13,70	25,42	35,70	45,48	0,00	0,08
GE72			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE73			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE74			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE75			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE76	53894	32,67	13,75	27,50	40,91	54,28	0,00	0,00
GE77			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE78	17237	23,27	13,75	25,84	37,43	49,02	0,00	0,06
GE79			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE80			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-29

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
GE34	0,18	0,22	1,12	6,29	16,52	-0,02		
GE35	0,15	0,17	1,70	3,11	12,72	-0,02		
GE36	0,15	0,16	3,12	3,39	24,54	-0,18		
GE37	0,38	0,40	0,81	0,95	12,54	-0,03		
GE37P	0,62	0,63	3,25	7,66	95,89	0,03		
GE38	0,39	0,41	0,85	1,86	16,18	-0,02		
GE39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE40	0,09	0,11	0,69	0,96	4,03	0,00		
GE41	0,03	0,04	0,68	0,39	1,48	0,00		
GE42	0,31	0,34	1,32	5,80	24,69	-0,04		
GE47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE48	0,02	0,03	0,81	0,32	1,21	-0,02		
GE49	0,16	0,21	0,87	2,26	9,78	-0,03		
GE50	0,07	0,08	1,05	0,42	3,67	-0,07	74	-3,32
GE51	0,12	0,12	0,72	0,49	4,03	-0,05	87	-4,60
GE52	0,17	0,18	0,33	0,34	2,83	-0,02	90	-4,51
GE52P	0,28	0,29	3,80	6,64	54,63	-0,03	56	-0,64
GE53	0,37	0,40	0,40	0,69	6,23	-0,02	114	-3,57
GE53P	0,30	0,32	7,03	12,13	104,97	-0,30	39	-1,34
GE54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE56	0,02	0,03	1,05	0,39	1,65	-0,01		
GE57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE60	0,31	0,32	0,41	0,78	6,29	-0,01	88	-2,78
GE61			0,35	0,29	1,22	-0,01	69	-0,32
GE61B	0,08	0,10	0,46	0,56	2,38	-0,02	54	-0,40
GE62	0,00	0,00	0,33	0,01	0,03			
GE62B	0,06	0,08	1,15	1,13	4,90	-0,04		
GE63	0,01	0,02	0,15	0,03	0,14	0,00		
GE64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE67	0,01	0,02	0,07	0,02	0,08	-0,02		
GE70	0,02	0,05	1,31	0,76	3,18	-0,04		
GE70B	0,18	0,19	0,95	1,07	8,98	-0,05	24	-0,60
GE71	0,03	0,05	1,18	0,77	3,22	-0,04		
GE71B	0,13	0,17	1,62	3,61	15,17	-0,05	48	-0,83
GE72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE76	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00		
GE77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE78	0,09	0,11	0,53	0,19	1,64	0,01		
GE79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
GE34	33,13	214,48	40,28	4,31	-0,17	41,59
GE35	42,15	60,40	44,16	3,99	-0,06	44,42
GE36	44,60	17,36	45,18	3,92	-0,04	44,85
GE37	24,44	96,58	27,66	4,26	-0,31	24,93
GE37P	14,49	46,05	16,03	3,48	-0,22	15,38
GE38	22,06	156,84	27,28	4,32	-0,30	26,93
GE39						
GE40	42,31	156,51	47,52	4,23	-0,11	47,90
GE41	50,28	50,23	51,95	4,04	-0,03	51,96
GE42	25,63	197,50	32,22	4,35	-0,25	33,11
GE47						
GE48	50,32	79,78	52,98	4,09	-0,03	52,87
GE49	30,61	312,05	41,01	4,56	-0,24	41,61
GE50	48,21	35,77	49,40	4,07	-0,05	49,05
GE51	44,59	47,93	46,19	4,06	-0,07	45,86
GE52	41,62	45,00	43,12	4,07	-0,09	42,28
GE52P	35,16	41,35	36,54	3,90	-0,09	35,99
GE53	18,95	245,46	27,13	4,85	-0,47	26,16
GE53P	32,28	69,27	34,59	4,13	-0,19	32,97
GE54						
GE55						
GE56	50,81	64,90	52,97	4,08	-0,03	52,99
GE57						
GE60	31,92	58,49	33,87	3,91	-0,12	33,34
GE61	47,43	95,71	50,62	4,22	-0,08	51,03
GE61B	46,39	64,46	48,54	4,15	-0,08	48,96
GE62	53,22	69,32	55,53	4,09	-0,02	55,26
GE62B	48,09	49,22	49,74	4,13	-0,06	50,07
GE63	52,30	43,28	53,74	4,06	-0,02	53,75
GE64						
GE65						
GE66						
GE67	45,96	299,82	55,95	4,43	-0,12	55,34
GE70	44,31	260,78	53,00	4,46	-0,14	53,17
GE70B	42,80	20,65	43,48	3,93	-0,05	42,87
GE71	45,57	193,40	52,02	4,32	-0,11	52,20
GE71B	33,45	294,21	43,26	4,57	-0,23	43,97
GE72						
GE73						
GE74						
GE75						
GE76	52,46	48,35	54,07	4,06	-0,02	54,00
GE77						
GE78	37,88	226,14	45,42	4,51	-0,21	45,29
GE79						
GE80						

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-31

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
GE81	910709	1,5	4,8	3,1	30	55				
GE82	910709	1,3	1,5	1,4	30	55				
GE83	910709	1,2	3,8	2,5	30	55				
GE84	910709	2,3	3,2	2,8	30	55				
GE85	910709	1,2	3,1	2,2	30	55				
GE86	910810	2,1	5,1	3,6	30	55	0,06	3,10	4,20	
GE86B	910811	21,3	16,3	18,8	30	55	0,01	0,30	0,50	
GE87	910726	1,2	3,7	2,5	60	55	0,02	0,50	1,10	
GE88	910726	1,2	3,7	2,5	30	55	0,02	0,50	1,10	
GE89	910726	2,1	5,1	3,6	30	55	0,07	3,10	4,20	
GE9001	910726	1,2	2,1	1,7	30	55	0,05	4,30	5,10	
GE9101	910726	2,1	4,3	3,2	30	55	0,00	5,30	7,40	
GE9201	910726	1,2	4,3	2,8	30	55	0,09	8,10	10,10	
GE9301	910626	2,0	3,5	2,7	30	55	0,02	3,40	3,10	
MN0101	900121	5,4	18,2	11,8	31	55	0,01	2,20	5,00	6,30
MN0102	900317	2,9	3,7	3,3	30	55	0,01	2,45	6,10	5,50
MN0103	900518	3,5	4,7	4,1	30	55	0,01	2,50	2,30	6,30
MN0104	900804	1,4	3,0	2,2	30	55	0,04	5,00	6,00	8,00
MN0105	901109	3,3	7,1	5,2	30	55	0,02	1,26	1,30	7,00
MN0106	910804	0,8	1,0	0,9	30	55	0,02	2,25	3,23	11,00
MN0201	900119	16,7	12,6	14,6	28	55	0,01	1,10		
MN0202	900317	1,2	1,8	1,5	30	55	0,01	2,31		3,18
MN0203	901805	1,0	1,4	1,2	30	55	0,01	3,10		
MN0204	900804	1,9	3,0	2,4	50	55	0,05	5,50	6,30	17,00
MN0205	901121	10,3	12,4	11,3	30	55	0,01	1,20	2,00	
MN0301	900121	17,1	17,9	17,5	30	55	0,00	1,70	1,10	
MN0302	900317	3,3	4,1	3,7	30	55	0,07	6,00		5,30
MN0303	900518	5,6	9,0	7,3	30	55	0,01	2,45	3,00	2,10
MN0304	900804	1,6	3,9	2,8	90	55	0,31	8,30	10,30	3,00
MN0305	901121	6,3	10,8	8,5	30	55	0,01	1,30	2,00	1,25
MN0401	900121	17,0	20,1	18,5	30	55	0,00	0,30	0,50	
MN0402	900317	3,7	6,0	4,9	30	55	0,06	4,35	4,50	6,10
MN0403	900518	6,6	8,6	7,6	30	55	0,02	2,25	2,50	1,23
MN0404	900804	2,8	4,1	3,4	40	55	0,05	5,10	9,50	38,00
MN0405	901121	5,6	10,8	8,2	30	55	0,01	1,30	2,02	1,45
MN0501	900122	15,5	15,2	15,4	30	55	0,00	1,30		
MN0502	900317	2,4	4,2	3,3	30	55	0,01	2,02	3,16	
MN0503	900518	10,2	12,5	11,4	30	55	0,01	0,00	1,50	
MN0504	900804	1,8	1,7	1,7	30	55	0,02	4,10	5,40	
MN0505	901121	8,4	9,8	9,1	30	55	0,01	1,20	1,40	
MN0601	900122	27,3	24,8	26,0	30	55	0,00	0,40	1,15	
MN0602	900317	1,0	5,3	3,1	30	55	0,03	3,30		4,00
MN0603	900518	2,9	7,1	5,0	30	55	0,03	1,02	3,15	
MN0604	900804	1,2	1,4	1,3	60	55	0,18	11,00	13,00	18,00
MN0605	901121	6,7	11,6	9,2	30	55	0,02	1,25	2,45	2,20
MN0701	900122	12,7	16,2	14,4	30	55	0,01	0,57	1,06	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-32

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
GE81			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE82			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE83			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE84			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE85			0,00	0,00	0,00			55,00	
GE86	5,10	1,00	6,01	0,11	0,22	0,08	4,82	42,47	5,26
GE86B	1,10	1,16	16,38	0,31	0,38	0,70	1,09	37,09	1,19
GE87	1,30	1,50	21,88	0,41	0,49	0,13	0,45	29,66	0,49
GE88	1,30	1,50	18,72	0,34	0,46	0,12	0,21	28,92	0,23
GE89	5,10	1,00	6,04	0,11	0,19	0,07	4,97	40,37	5,42
GE9001	6,00	0,65	3,94	0,07	0,12	0,20	5,51	48,93	6,02
GE9101	10,43	0,28	0,78	0,01	0,04				
GE9201	12,00	0,48	1,69	0,03	0,07	0,44	11,01	51,87	12,01
GE9301	5,49	1,16	12,40	0,23	0,39	0,25	5,80	36,22	6,33
MN0101	3,30	2,25	32,10	0,58	0,75	0,31	3,20	13,85	3,50
MN0102	6,30	2,00	23,52	0,43	0,61	0,49	5,87	22,06	6,41
MN0103	2,40	1,70	32,22	0,59	0,75	0,22	2,46	12,27	2,69
MN0104	7,00	0,98	14,47	0,26	0,48	0,07	5,32	19,37	5,81
MN0105	2,20	0,93	46,25	0,84	1,07	0,25	2,36	0,00	2,57
MN0106	4,15	1,66	25,56	0,49	0,87	0,15	4,08	16,31	4,45
MN0201	1,15	2,33	27,29	0,50	0,57	0,59	1,09	24,61	1,19
MN0202	3,00	1,41	12,73	0,23	0,25	1,15	2,74	40,43	2,99
MN0203	3,30	1,33	19,55	0,36	0,45	0,33	2,29	30,94	2,49
MN0204	9,30	1,25	8,06	0,15	0,22	0,12	7,33	43,06	8,00
MN0205	2,30	1,00	29,06	0,53	0,64	0,30	1,35	20,71	1,47
MN0301	1,15	1,25	35,57	0,65	0,71	2,94	1,14	17,57	1,25
MN0302	6,00	1,18	4,42	0,08	0,13	0,10	3,93	46,99	4,28
MN0303	3,25	1,16	21,54	0,39	0,47	0,32	1,89	28,91	2,06
MN0304	33,00	0,50	1,25	0,02	0,04	0,11	26,53	52,73	28,94
MN0305	2,30	1,83	36,70	0,67	0,82	0,47	2,22	11,96	2,43
MN0401	1,00	1,33	43,52	0,79	0,87	2,33	0,89	9,41	0,98
MN0402	10,00	1,06	5,89	0,11	0,23	0,07	8,63	36,06	9,41
MN0403	3,20	1,31	18,56	0,34	0,50	0,12	2,88	25,51	3,15
MN0404	12,00	1,63	4,09	0,07	0,12	0,38	10,73	48,68	11,70
MN0405	3,00	0,98	31,50	0,57	0,74	0,27	1,92	16,23	2,10
MN0501	1,45	3,00	36,58	0,67	0,67	3,03	1,60	15,82	1,74
MN0502	3,30	2,08	14,62	0,27	0,34	0,29	2,76	36,54	3,01
MN0503	2,00	2,25	31,66	0,58	0,70	0,47	1,63	18,80	1,78
MN0504	7,00	1,66	7,61	0,14	0,20	0,87	6,27	44,71	6,84
MN0505	2,00	4,41	38,99	0,71	0,82	0,50	1,39	10,93	1,52
MN0601	1,30	2,25	25,93	0,47	0,45	0,80	1,34	26,51	1,46
MN0602	4,16	1,16	5,88	0,11	0,14	0,25	3,29	47,12	3,59
MN0603	5,15	1,03	13,45	0,24	0,37	0,14	2,83	34,51	3,09
MN0604	16,30	0,50	2,72	0,05	0,08	0,05	7,07	49,79	7,71
MN0605	3,00	1,66	20,20	0,37	0,52	0,11	2,46	22,80	2,68
MN0701	1,20	2,66	53,32	0,97	1,03	1,13	1,08	0,00	1,18

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
GE81			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE82			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE83			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE84			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE85			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
GE86	62	47,24	13,07	24,48	35,33	46,02	0,05	0,11
GE86B	78	6,70	9,90	19,17	28,45	37,72	0,28	0,30
GE87	57	34,63	10,19	18,00	25,47	32,90	0,26	0,35
GE88	56	38,87	10,21	17,96	25,28	32,53	0,26	0,35
GE89	61	59,84	13,09	24,37	34,91	45,17	0,05	0,11
GE9001	69	18,52	13,22	25,52	37,76	49,99	0,04	0,07
GE9101								
GE9201	705	16,05	13,66	26,66	39,62	52,59	0,01	0,03
GE9301	127	22,18	12,01	21,19	30,25	39,30	0,13	0,23
MN0101	135	21,93	7,67	11,19	14,65	18,11	0,44	0,59
MN0102	769	16,69	9,86	15,39	20,91	26,42	0,28	0,44
MN0103	89	29,78	7,71	10,97	14,05	17,12	0,44	0,60
MN0104	72	83,46	12,23	20,00	25,91	31,14	0,11	0,27
MN0105	108	83,46	4,76	3,76	2,61	1,46	0,65	0,86
MN0106	92	40,80	10,09	14,90	19,05	23,13	0,27	0,46
MN0201	86	9,31	7,36	13,51	19,66	25,81	0,46	0,51
MN0202	501	6,10	10,94	21,05	31,16	41,26	0,20	0,23
MN0203	85	15,77	9,74	17,49	25,22	32,96	0,29	0,36
MN0204	75	35,24	13,24	24,55	35,40	46,18	0,04	0,11
MN0205	74	18,29	7,58	12,79	17,96	23,14	0,45	0,54
MN0301	1485	3,07	5,09	9,48	13,87	18,26	0,63	0,66
MN0302	59	32,91	13,16	25,25	37,07	48,84	0,04	0,08
MN0303	79	16,12	9,25	16,50	23,72	30,95	0,33	0,40
MN0304	103	42,58	13,75	27,50	40,92	54,15	0,00	0,00
MN0305	146	14,97	5,88	8,88	11,87	14,86	0,57	0,68
MN0401	451	3,63	3,15	5,50	7,85	10,21	0,77	0,80
MN0402	72	67,03	13,40	24,36	34,07	43,33	0,03	0,11
MN0403	69	41,81	10,79	17,91	24,40	30,80	0,21	0,35
MN0404	571	18,50	13,56	25,80	37,97	50,14	0,01	0,06
MN0405	85	22,09	7,40	11,51	15,57	19,63	0,46	0,58
MN0501	7705	3,56	4,92	8,88	12,84	16,79	0,64	0,68
MN0502	81	16,37	10,94	20,10	29,24	38,37	0,20	0,27
MN0503	103	12,91	6,74	11,45	16,14	20,84	0,51	0,58
MN0504	3908	10,46	12,46	23,64	34,82	46,00	0,09	0,14
MN0505	105	13,52	4,93	7,67	10,40	13,13	0,64	0,72
MN0601	118	7,33	7,67	14,29	20,92	27,55	0,44	0,48
MN0602	66	14,88	12,68	24,49	36,27	48,05	0,08	0,11
MN0603	66	32,33	11,53	20,53	29,21	37,84	0,16	0,25
MN0604	57	56,97	13,64	26,73	39,49	52,09	0,01	0,03
MN0605	66	46,81	10,52	17,14	23,01	28,75	0,23	0,38
MN0701	214	46,81	1,00	0,50	0,00	-0,50	0,93	0,98

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-34

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa μs	ts
GE81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
GE86	0,14	0,16	0,91	0,68	5,47	-0,05	75	-2,82
GE86B	0,31	0,31	0,89	1,82	14,65	0,01	27	-0,67
GE87	0,38	0,40	0,60	3,20	13,02	-0,01	111	-2,02
GE88	0,39	0,41	0,64	1,43	11,91	-0,04	140	-3,72
GE89	0,15	0,18	1,50	1,09	9,09	-0,08	77	-2,82
GE9001	0,08	0,09	7,58	2,64	29,83	-0,13		
GE9101			8,75	0,68	6,82	-0,47		
GE9201	0,04	0,04	8,61	1,66	14,56	0,21		
GE9301	0,27	0,29	3,59	5,48	44,54	-0,06		
MN0101	0,64	0,67	53,57	183,19	1719,79	-1,23	384	-10,79
MN0102	0,49	0,52	58,73	144,73	1381,34	-1,79	285	-7,59
MN0103	0,66	0,69	71,24	240,49	2295,33	-2,64	250	-2,75
MN0104	0,37	0,43	67,02	101,63	970,04	-1,78	348	-10,12
MN0105	0,94	0,97	51,61	250,08	2386,94	-0,65	273	-2,26
MN0106	0,54	0,58	63,10	189,40	1613,07	1,62	221	-2,32
MN0201	0,52	0,53	0,41	1,58	11,05	-0,01	212	-3,54
MN0202	0,24	0,25	0,47	0,92	6,04	-0,04	207	-5,06
MN0203	0,39	0,40	12,03	35,90	235,12	-0,42	214	-2,89
MN0204	0,14	0,16	1,83	3,76	14,77	-0,19	294	-3,61
MN0205	0,56	0,58	0,81	3,58	23,43	-0,04	177	-6,69
MN0301	0,66	0,67	2,09	9,07	74,24	-0,01	250	0,35
MN0302	0,10	0,11	2,92	1,58	12,93	-0,32	214	-7,28
MN0303	0,42	0,44	3,32	8,74	71,53	0,00	170	-1,90
MN0304	0,01	0,02	1,94	0,89	2,42	-0,02	225	0,50
MN0305	0,71	0,73	4,71	21,13	172,95	0,08	183	-1,68
MN0401	0,81	0,81	4,12	18,37	179,49	0,14	235	-0,84
MN0402	0,17	0,21	4,19	2,53	24,70	-0,04	168	-2,98
MN0403	0,41	0,44	2,44	4,64	45,32	-0,27	158	-4,39
MN0404	0,08	0,09	1,51	0,84	6,16	0,07	203	-0,22
MN0405	0,62	0,64	9,85	31,75	310,32	-0,01	79	-0,58
MN0501	0,69	0,69	0,17	0,79	6,25	-0,01	233	-0,11
MN0502	0,29	0,30	1,22	2,24	17,86	-0,09	369	-16,79
MN0503	0,61	0,62	2,35	9,36	74,56	-0,18	383	-17,56
MN0504	0,16	0,16	0,42	0,40	3,19	-0,03	296	-8,54
MN0505	0,75	0,76	0,40	1,97	15,66	-0,02	386	-15,79
MN0601	0,49	0,50	0,48	1,58	12,52	-0,03	250	-0,87
MN0602	0,12	0,13	3,18	2,37	18,72	-0,05	182	-3,54
MN0603	0,29	0,31	3,23	5,49	43,39	-0,07	136	-1,47
MN0604	0,04	0,05	1,41	0,97	3,82	-0,03	219	-0,26
MN0605	0,44	0,48	0,90	2,31	18,26	-0,02	141	-4,02
MN0701	1,00	1,01	1,93	10,34	102,94	0,02	251	-2,79

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
GE81						
GE82						
GE83						
GE84						
GE85						
GE86	42,05	80,60	44,74	4,26	-0,14	43,55
GE86B	35,01	23,60	35,80	3,84	-0,09	34,83
GE87	28,54	59,80	30,53	3,99	-0,16	30,79
GE88	29,83	53,42	31,61	4,09	-0,21	29,26
GE89	41,67	84,91	44,50	4,27	-0,15	43,31
GE9001	46,78	49,02	48,41	4,11	-0,07	48,01
GE9101	52,04	32,89	53,13	4,09	-0,04	52,96
GE9201	49,66	49,64	51,31	4,10	-0,05	51,22
GE9301	28,15	165,89	33,68	4,42	-0,27	33,10
MN0101	6,55	150,70	11,57	4,26	-0,53	11,65
MN0102	12,92	184,80	19,08	4,33	-0,41	19,16
MN0103	6,72	146,05	11,59	4,69	-0,69	10,42
MN0104	20,51	242,58	28,59	4,91	-0,47	27,04
MN0105				14,29	-7,17	0,00
MN0106	2,93	277,15	12,17	6,04	-1,11	9,47
MN0201	22,28	34,57	23,44	3,58	-0,14	22,69
MN0202	39,49	16,15	40,02	3,76	-0,02	40,19
MN0203	28,09	57,87	30,02	3,92	-0,16	29,02
MN0204	40,25	117,03	44,15	4,20	-0,12	44,50
MN0205	17,50	66,83	19,73	3,96	-0,31	18,03
MN0301	16,25	14,54	16,74	3,16	-0,12	15,95
MN0302	46,34	47,61	47,92	4,10	-0,07	47,40
MN0303	26,24	55,55	28,09	3,88	-0,17	27,12
MN0304	51,87	61,79	53,93	4,05	-0,02	53,71
MN0305	5,23	105,94	8,76	4,14	-0,58	8,75
MN0401	7,20	23,80	7,99	3,10	-0,34	6,95
MN0402	34,41	208,28	41,35	4,60	-0,26	40,59
MN0403	23,97	122,25	28,04	4,44	-0,35	25,81
MN0404	46,24	68,27	48,52	4,09	-0,06	48,60
MN0405	11,54	100,62	14,89	4,22	-0,48	13,35
MN0501	14,28	18,52	14,89	2,97	-0,09	14,61
MN0502	33,95	55,63	35,81	3,98	-0,12	35,03
MN0503	14,45	67,06	16,68	3,86	-0,33	15,64
MN0504	42,17	45,37	43,68	3,99	-0,07	43,43
MN0505	7,03	62,10	9,11	3,67	-0,45	8,53
MN0601	24,76	28,13	25,70	3,43	-0,05	26,18
MN0602	45,84	29,95	46,84	4,02	-0,05	46,42
MN0603	32,13	93,60	35,25	4,19	-0,20	33,98
MN0604	49,29	64,85	51,45	4,09	-0,04	51,61
MN0605	22,59	115,75	26,45	4,46	-0,38	23,84
MN0701				0,36	-2,53	0,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-36

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
MN0702	900317	5,1	10,3	7,7	30	55	0,00	2,10		2,30
MN0703	900518	1,1	4,0	2,6	25	110	0,00	1,50		
MN0704	900804	1,9	3,0	2,5	300	55	0,02	4,30	6,15	7,00
MN0705	901121	1,6	4,1	2,8	30	55	0,00	2,00	2,21	
MN0802	900420	12,3	15,3	13,8	60	55	0,25	12,00		
MN0803	900518	11,9	10,2	11,0	98	110	0,47	0,00		
MN0804	900310	10,2	9,2	9,7	30	55	0,00	4,00		
MN0804	900805	1,2	2,4	1,8	60	180	0,05	8,00	9,10	
MN0805	901122	22,0	17,1	19,6	40	55	0,02	1,20	1,35	
MN0806	910802	1,2	2,4	1,8	40	55				
MN0901	900310	2,4	4,4	3,4	30	55	0,00	2,00		
MN0902	900419	3,2	8,3	5,7	30	55	0,03	4,00	5,30	
MN0903	900520	3,2	2,6	2,9	49	55	0,10	2,50	3,35	
MN0904	900804	1,3	1,4	1,4	49	55		10,30		
MN0905	901121	2,0	3,9	3,0	30	55	0,01	1,40	2,20	
MN1001	900313	6,3	9,3	7,8	30	55	0,00	1,30		
MN1002	900419	1,5	3,5	2,5	30	55	0,01	2,10	2,40	
MN1003	900520	0,6	1,6	1,1	30	55	0,01	1,30	2,50	
MN1004	900814	0,8	0,9	0,8	30	55	0,02	3,25	5,32	
MN1005	901121	10,4	14,3	12,3	30	55	0,00	1,28	1,58	
MN1101	900310	8,4	12,5	10,4	30	55	0,02			
MN1102	900520	6,4	10,3	8,3	28	55	0,02	6,02	7,35	3,05
MN1103	900803	2,5	3,3	2,9	28	55		20,00		
MN1104	901122	4,7	8,1	6,4	30	55	0,02	3,00	5,20	1,30
MN1105	910803	1,2	4,0	2,6	30	55	0,02	3,10	10,00	4,00
MN1201	900310	8,4	11,2	9,8	30	55	0,01	2,30		10,30
MN1202	900419	1,9	7,5	4,7	30	55	0,01	4,00	4,00	2,30
MN1203	900520	4,3	13,4	8,8	30	55	0,01	1,00	2,30	2,57
MN1204	900805	2,5	4,7	3,6	30	55	0,03	4,10	6,00	4,40
MN1205	901122	8,6	9,2	8,9	30	55	0,02	1,38	1,50	2,39
MN1206	910803	1,0	2,3	1,7	30	55	0,02	2,20	5,00	6,30
MN1301	900310	6,9	7,1	7,0	30	55	0,01	1,55		11,00
MN1302	900419	3,7	13,2	8,4	31	55	0,01	5,00	5,37	4,00
MN1303	900520	8,9	12,4	10,6	30	55	0,01	1,45	1,50	8,00
MN1304	900805	1,8	2,9	2,3	30	55	0,01	1,55	3,30	7,00
MN1305	901122	7,0	7,4	7,2	50	55	0,01	1,10	1,46	6,10
MN1306	910803	1,9	4,1	3,0	30	55	0,01	2,30	2,45	16,00
MN1401	900310	10,3	8,4	9,3	30	55	0,01	1,15		
MN1402	900419	2,4	9,2	5,8	29	55	0,01			
MN1403	900520	3,4	8,4	5,9	30	55	0,00	1,20	1,30	
MN1404	900805	1,9	1,9	1,9	40	55	0,01	2,50	3,30	6,00
MN1405	901122	7,7	14,0	10,8	30	55	0,01		50,00	1,30
MN1501	900310	8,3	14,0	11,2	30	55	0,00	2,30		2,30
MN1502	900419	3,0	14,7	8,8	27	55	0,02	4,30		
MN1503	900520	4,8	7,0	5,9	14	55	0,01	1,50	2,00	2,10
MN1504	900520	17,6	13,4	15,5	30	55	0,01	1,45		

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
MN0702	2,30	2,03	45,34	0,82	0,92	0,71	2,26	3,14	2,47
MN0703	2,16	3,00	74,95	0,68	0,85	0,33	3,77	16,23	2,06
MN0704	6,40		1,72	0,31	0,40	0,25	5,49	29,26	5,99
MN0705	2,40	3,00	46,11	0,84	0,97	0,67	2,35	1,77	2,57
MN0802	18,00	0,50	1,13	0,02	0,04	0,09	16,15	52,87	17,62
MN0803	36,00	0,50	1,59	0,01	0,03	0,01	5,48	104,93	2,99
MN0804	5,00	0,50	3,35	0,06	0,05				
MN0804	10,00	0,50	6,80	0,04	0,06	0,08	18,67	169,84	6,22
MN0805	2,00	0,33	1,40	0,03	0,03	3,30	1,82	53,44	1,99
MN0806			0,00	0,00	0,00			55,00	
MN0901	2,30	1,25	26,64	0,48	0,54	1,92	2,29	25,56	2,50
MN0902	6,00	0,83	3,99	0,07	0,10	0,83	5,40	49,63	5,89
MN0903	31,00	0,50	2,22	0,04	0,14	0,33	27,22	48,70	29,70
MN0904			0,00	0,00	0,00			55,00	
MN0905	3,00	1,25	13,91	0,25	0,28	1,04	2,71	38,88	2,95
MN1001	2,00	2,51	44,62	0,81	0,90	0,74	1,82	4,88	1,98
MN1002	3,30	4,33	29,52	0,54	0,73	0,19	2,33	15,45	2,54
MN1003	3,00	2,00	32,70	0,59	0,71	0,55	2,66	16,19	2,91
MN1004	6,30	2,00	14,19	0,26	0,39	0,26	5,76	33,58	6,28
MN1005	2,15		46,80	0,85	0,98	0,90	2,04	2,40	2,23
MN1101	4,00	1,11	33,02	0,60	0,88	0,16	3,05	7,18	3,33
MN1102	8,00	0,90	18,38	0,33	0,59	0,17	7,70	17,63	8,40
MN1103			0,00	0,00	0,00			55,00	
MN1104	6,50	0,66	23,78	0,43	0,72	0,14	5,68	12,59	6,20
MN1105	15,00	0,50	11,05	0,20	0,59	0,48	13,83	32,69	15,08
MN1201	2,30	1,30	44,46	0,81	0,98	0,34	2,17	1,19	2,36
MN1202	4,00	1,96	28,00	0,51	0,76	0,18	3,54	14,35	3,86
MN1203	3,08	1,13	35,20	0,64	0,76	0,39	2,15	12,88	2,35
MN1204	9,30	1,16	17,08	0,31	0,65	0,11	8,24	14,39	8,99
MN1205	2,30	1,16	44,04	0,80	1,02	0,26	1,87	0,00	2,04
MN1206	5,30	0,83	22,61	0,42	0,69	0,20	4,76	21,80	5,19
MN1301	1,35	1,50	45,00	0,82	1,00	0,31	1,61	0,32	1,76
MN1302	6,00	1,96	26,17	0,49	0,75	0,26	5,19	15,64	5,66
MN1303	2,00	1,63	46,06	0,84	1,02	0,30	2,24	0,00	2,44
MN1304	5,00	1,33	29,03	0,53	0,74	0,29	4,74	13,91	5,17
MN1305	2,00	1,83	48,64	0,88	0,97	0,42	2,06	1,15	2,24
MN1306	4,00	1,00	31,82	0,60	0,89	0,25	3,94	11,96	4,30
MN1401	2,00	1,13	41,41	0,75	0,89	0,33	1,14	7,02	1,24
MN1402	4,50	1,28	18,48	0,34	0,45	0,70	4,26	31,81	4,64
MN1403	1,45	1,00	41,90	0,76	0,85	1,14	1,59	9,09	1,73
MN1404	5,00	0,25	16,51	0,30	0,35	0,58	4,05	35,82	4,41
MN1405	1,15	1,50	41,08	0,75	0,88	0,26	0,46	7,11	0,50
MN1501	2,00	2,00	31,01	0,56	0,60	1,43	1,82	21,05	1,98
MN1502	5,00	1,50	13,90	0,28	0,45	0,13	3,26	26,52	3,55
MN1503	2,08	2,90	17,73	0,32	0,46	0,39	1,01	30,93	1,10
MN1504	2,00	1,51	33,68	0,61	0,68	0,35	1,45	15,74	1,58

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
MN0702	305	12,87	3,68	4,46	5,24	6,03	0,73	0,84
MN0703	203	21,08	11,14	15,25	19,31	23,37	0,59	0,72
MN0704	144	23,92	11,24	18,71	26,02	33,34	0,18	0,32
MN0705	298	14,53	3,58	4,02	4,46	4,91	0,74	0,85
MN0802	64	32,51	13,75	27,31	40,61	53,85	0,00	0,01
MN0803	110	143,35	27,43	54,68	81,76	108,72	0,00	0,01
MN0804								
MN0804	186	29,01	44,54	87,72	130,41	172,93	0,01	0,03
MN0805	1158	2,31	13,41	26,77	40,13	53,49	0,02	0,03
MN0806			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN0901	3572	4,97	7,59	13,98	20,37	26,76	0,45	0,49
MN0902	767	8,76	13,00	25,41	37,81	50,22	0,05	0,08
MN0903	>100000	37,36	13,75	27,49	39,90	52,08	0,00	0,00
MN0904			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN0905	385	6,54	10,65	20,37	30,09	39,81	0,23	0,26
MN1001	223	11,34	3,63	4,85	6,07	7,30	0,74	0,82
MN1002	80	31,28	8,34	12,47	16,34	20,21	0,39	0,55
MN1003	206	12,93	6,80	10,85	14,90	18,94	0,51	0,61
MN1004	141	22,51	11,72	20,24	28,64	37,03	0,15	0,26
MN1005	390	10,82	3,09	3,69	4,29	4,89	0,77	0,87
MN1101	90	43,06	8,25	10,65	12,50	14,30	0,40	0,61
MN1102	169	40,57	11,92	17,38	21,87	26,28	0,13	0,37
MN1103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN1104	111	48,83	10,90	15,31	18,63	21,79	0,21	0,44
MN1105	30674	23,90	13,75	22,55	30,72	38,89	0,00	0,18
MN1201	121	27,26	4,58	4,91	5,20	5,50	0,67	0,82
MN1202	96	35,26	9,17	13,19	16,80	20,39	0,33	0,52
MN1203	118	17,27	6,31	9,54	12,76	15,98	0,54	0,65
MN1204	120	62,00	12,53	18,66	22,77	26,48	0,09	0,32
MN1205	93	62,00	4,89	4,99	4,97	4,96	0,64	0,82
MN1206	114	30,73	10,49	16,29	21,76	27,21	0,24	0,41
MN1301	94	33,74	4,17	4,29	4,37	4,45	0,70	0,84
MN1302	189	26,77	9,60	13,70	17,61	21,52	0,30	0,50
MN1303	118	26,77	4,39	3,93	3,42	2,91	0,68	0,86
MN1304	200	24,64	8,91	12,49	15,97	19,45	0,35	0,55
MN1305	138	22,58	4,00	4,30	4,58	4,87	0,71	0,84
MN1306	140	27,51	8,38	11,53	14,52	17,51	0,39	0,58
MN1401	79	20,92	4,74	6,51	8,26	10,02	0,66	0,76
MN1402	642	10,74	10,09	18,05	26,00	33,95	0,27	0,34
MN1403	339	7,20	3,87	6,14	8,41	10,69	0,72	0,78
MN1404	282	11,29	10,75	19,71	28,66	37,62	0,22	0,28
MN1405	62	25,89	4,82	6,66	8,44	10,21	0,65	0,76
MN1501	604	5,53	6,55	11,82	17,08	22,34	0,52	0,57
MN1502	71	40,66	11,01	18,35	25,08	31,73	0,20	0,33
MN1503	68	12,23	9,00	16,74	24,47	32,20	0,35	0,39
MN1504	84	17,27	6,48	10,43	14,36	18,30	0,53	0,62

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-39

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
MN0702	0,87	0,89	0,63	2,88	28,71	-0,03	217	-6,58
MN0703	0,77	0,79	1,25	7,82	93,48	-0,06	148	-3,71
MN0704	0,37	0,39	0,99	1,70	1,69	-0,07	260	0,53
MN0705	0,89	0,91	0,90	4,15	41,34	0,01	166	-2,29
MN0802	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00		
MN0803	0,01	0,01	0,27	0,16	0,43	0,00	119	-0,63
MN0804			0,25	0,09	0,83	-0,02	180	-1,33
MN0804	0,03	0,04	0,45	0,68	3,06	-0,02	193	-3,49
MN0805	0,03	0,03	0,00	0,68	3,06	-3,49	74	-2,41
MN0806	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN0901	0,51	0,51	0,31	0,96	8,38	-0,01	175	-3,76
MN0902	0,08	0,09	0,96	0,44	3,82	-0,05	139	-0,79
MN0903	0,03	0,05	1,07	0,44	2,37	0,01	114	-1,67
MN0904	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN0905	0,27	0,28	0,28	0,45	3,96	-0,02	101	-2,59
MN1001	0,85	0,87	0,25	1,11	11,04	-0,02	160	-2,19
MN1002	0,60	0,63	3,08	9,18	91,06	-0,36	137	-3,00
MN1003	0,64	0,66	1,18	3,88	38,47	-0,07	154	-3,29
MN1004	0,31	0,33	0,24	0,34	3,35	-0,01	124	-2,83
MN1005	0,90	0,91	0,43	2,05	20,28	-0,03	133	-1,24
MN1101	0,70	0,74	62,19	236,83	2053,30	-1,03	176	-1,36
MN1102	0,47	0,52	50,54	99,97	928,67	-0,43	185	3,05
MN1103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN1104	0,55	0,60	60,18	165,05	1430,96	0,76	338	-8,39
MN1105	0,26	0,29	40,70	53,88	449,92	1,51	78	-2,60
MN1201	0,87	0,90	42,14	176,05	1873,46	-0,70	155	9,25
MN1202	0,59	0,63	31,30	82,35	876,37	0,04	252	-0,35
MN1203	0,69	0,71	34,25	113,28	1205,49	0,06	191	-1,61
MN1204	0,45	0,52	36,54	58,64	624,08	-1,57	208	-2,64
MN1205	0,88	0,91	37,58	155,51	1654,85	0,46	142	-2,46
MN1206	0,47	0,51	48,51	81,57	1096,98	0,40	170	-5,61
MN1301	0,89	0,92	56,68	240,05	2550,45	0,39	516	-12,95
MN1302	0,57	0,61	88,88	226,20	2325,86	-0,99	178	-4,30
MN1303	0,92	0,95	60,68	263,01	2794,41	-0,87	360	-1,87
MN1304	0,61	0,65	59,86	163,58	1738,00	-1,33	275	-23,48
MN1305	0,89	0,91	47,49	487,47	2309,84	0,39	334	-1,53
MN1306	0,65	0,68	51,03	158,71	1623,50	1,78	356	0,05
MN1401	0,80	0,82	0,71	1,81	29,20	-0,04	156	-4,24
MN1402	0,37	0,38	2,00	2,22	36,92	-0,05	141	-1,72
MN1403	0,80	0,81	0,45	1,17	18,80	-0,02	203	-4,59
MN1404	0,30	0,32	0,97	1,33	16,06	-0,09	275	-9,13
MN1405	0,80	0,81	0,32	0,81	13,07	0,00	77	-2,59
MN1501	0,59	0,59	0,39	0,91	12,17	-0,01	171	-3,13
MN1502	0,39	0,42	1,43	1,33	19,81	0,05	944	167,18
MN1503	0,41	0,41	0,54	0,33	9,57	0,09	246	0,00
MN1504	0,65	0,67	0,25	0,63	8,42	-0,01	171	-3,44

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
MN0702				2,93	-1,13	0,40
MN0703	3,99	225,05	11,50	4,97	-0,74	11,60
MN0704	21,75	173,88	27,55	4,47	-0,35	26,83
MN0705				4,90	-1,73	0,37
MN0802	51,98	48,92	53,61	4,08	-0,03	53,70
MN0803	105,95	91,35	109,00	4,74	-0,01	108,66
MN0804	52,41	-25,02	51,57	3,82	0,04	51,86
MN0804	168,40	92,05	171,47	5,22	-0,02	171,92
MN0805	53,42	0,48	53,44	3,98	0,00	53,45
MN0806						
MN0901	25,18	7,58	25,44	3,24	0,00	25,71
MN0902	48,69	17,17	49,27	3,97	-0,02	49,14
MN0903	43,07	242,95	51,17	4,39	-0,14	51,13
MN0904						
MN0905	37,34	23,45	38,12	3,77	-0,04	38,31
MN1001				3,45	-0,67	3,17
MN1002	10,80	132,15	15,21	4,48	-0,54	13,85
MN1003	10,15	95,65	13,34	3,84	-0,36	13,67
MN1004	26,39	159,59	31,71	4,38	-0,28	31,10
MN1005				6,01	-2,19	0,24
MN1101	0,43	212,82	7,53	5,59	-1,09	6,67
MN1102	0,90	451,39	15,94	5,90	-0,91	16,43
MN1103						
MN1104	2,39	343,15	13,83	5,72	-0,92	13,40
MN1105				6,37	-0,93	24,57
MN1201				9,79	-4,02	0,02
MN1202	6,85	204,67	13,67	5,00	-0,72	12,74
MN1203	8,04	91,00	11,08	3,97	-0,47	10,63
MN1204	2,62	487,86	18,88	6,10	-0,94	18,44
MN1205				11,37	-4,61	0,01
MN1206	10,96	231,74	18,68	4,99	-0,62	17,58
MN1301				10,31	-4,41	0,01
MN1302	4,90	243,23	13,01	5,07	-0,74	12,80
MN1303				6,63	-4,09	0,00
MN1304	1,36	251,11	9,73	4,91	-0,74	11,07
MN1305				2,90	-1,54	0,10
MN1306				5,49	-1,04	7,14
MN1401	3,62	72,78	6,05	4,21	-0,77	4,83
MN1402	27,67	69,62	29,99	3,97	-0,18	28,96
MN1403	5,24	47,23	6,81	3,11	-0,35	6,93
MN1404	33,76	43,43	35,21	3,82	-0,07	35,23
MN1405	5,17	67,40	7,42	4,14	-0,71	5,64
MN1501	18,92	29,67	19,91	3,35	-0,11	19,78
MN1502	24,40	130,50	28,75	4,44	-0,34	26,34
MN1503	29,22	30,06	30,22	3,88	-0,18	26,14
MN1504	11,85	74,21	14,32	3,86	-0,37	13,46

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-41

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
MN1505	900804	3,5	4,6	4,0	60	55	0,15	10,30	20,00	12,00
MN1506	901122	11,5	14,9	13,2	30	60	0,00	1,30	1,58	1,40
MN1601	900321	32,1	19,7	25,9	30	55	0,04	2,00		1,25
MN1602	900310	6,3	8,4	7,4	30	55	0,02	2,00		3,00
MN1603	900419	4,9	9,6	7,3	51	55	0,13	4,24		4,24
MN1604	900520	17,6	13,4	15,5	85	55	0,22	15,00	17,00	5,00
MN1605	900805	1,9	2,8	2,3	85	55				2,30
MN1606	901122	17,8	14,8	16,3	30	55	0,01	1,00	2,35	
MN1701	900310	8,3	10,2	9,3	30	55	0,01	2,45		
MN1702	900417	3,2	7,1	5,1	50	55	0,07		5,40	
MN1703	900502	2,9	5,9	4,4	50	55				
MN1704	900805	1,3	2,8	2,0	60	120	0,11	8,00	13,00	12,00
MN1705	901122	9,7	11,8	10,7	31	55	0,01	1,30	2,09	
MN1801	900310	3,2	6,4	4,8	58	55	0,01			6,50
MN1802	900419	2,4	5,6	4,0	30	55	0,01	3,15	4,10	7,00
MN1803	900520	2,6	8,1	5,4	27	55	0,01	1,50	1,58	4,30
MN1804	900803	1,8	2,4	2,1	30	55	0,02	5,00	6,30	11,00
MN1805	901121	8,3	7,1	7,7	30	55	0,01	1,30	2,30	5,00
MN1806	910803	1,1	3,2	2,1	30	55	0,01	1,10	1,30	7,15
MN19	910803	1,4	3,0	2,2	30	55	0,01	1,20	1,40	9,50
MN20	900122	11,9	24,6	18,2	30	55	0,02	2,00	2,15	
MN21	910803	1,0	2,4	1,7	30	55	0,06	10,00	13,00	2,10
MN22	910804	1,1	3,1	2,1	30	55	0,01	1,40	2,52	20,00
MN23	910803	1,4	2,5	2,0	30	55	0,02	2,30	5,03	12,00
MN24	910804	1,0	2,8	1,9	30	55	0,01	2,05	3,00	17,00
MN25	910804	1,2	2,1	1,7	30	55	0,01	1,30	1,40	7,10
MN26	910803	1,2	3,1	2,2	30	55	0,01	0,36	2,30	13,00
MN28	910804	1,1	3,0	2,1	40	55	0,01	1,20	2,44	15,00
MN30	910815	0,4	1,5	0,9	30	55	0,04	3,00	5,36	
MN31	910815	0,5	1,7	1,1	30	55	0,04	4,11	5,90	15,00
MN32	910815	0,5	1,4	0,9	30	55	0,01	3,10	5,10	18,00
MN33	910816	0,6	2,7	1,7	30	55	0,01	2,30	5,10	16,30
MN34	910815	0,5	1,9	1,2	51	55	0,02	2,45	3,15	13,00
MN35	910816	0,4	1,5	0,9	30	55	0,01	2,15	3,30	13,00
MN36	910816	1,3	2,1	1,7	30	55	0,01	3,00	3,40	
MN37	910816	0,4	2,1	1,3	30	55	0,01	1,50	2,30	4,30
MN38	910816	0,3	3,2	1,8	30	55	0,07	2,45	4,30	
MN39	910816	0,4	2,1	1,2	30	55	0,03	5,00		
MN40	910816	0,7	1,3	1,0	30	55		4,14		
MN41	910816	0,6	2,4	1,5	33	55	0,03	3,15	5,00	25,00
MN42	910816	0,2	2,1	1,2	30	55	0,01	5,00	5,20	
MN43	910816	0,1	1,6	0,9	30	55	0,01	2,10	2,15	
MN80	910817	1,0	3,1	2,1	30	55	0,03	1,30	2,10	13,30
MN81	910817	1,5	4,3	2,9	30	55	0,02	1,40	2,40	13,00
MN82	910817	2,1	4,3	3,2	30	55	0,02	1,30	2,05	
MN83	910817	1,0	3,1	2,0	30	55	0,02	2,10	3,00	14,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-42

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
MN1505	25,00	0,50	2,36	0,04	0,09	0,09	16,64	50,24	18,15
MN1506	2,20	1,50	39,44	0,66	0,75	0,75	2,17	15,98	2,17
MN1601	2,00	0,75	16,29	0,30	0,43	0,08	0,14	28,44	0,15
MN1602	2,30	0,75	13,31	0,24	0,34	0,23	2,50	37,53	2,72
MN1603	23,30	0,50	2,32	0,04	0,10	0,10	21,45	48,79	23,40
MN1604	27,00	1,01	3,31	0,06	0,11	0,04	15,31	48,33	16,70
MN1605	0,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
MN1606	3,30	0,53	18,37	0,33	0,42	0,36	2,92	31,98	3,18
MN1701	5,00	1,00	13,90	0,25	0,35	1,54	4,56	37,86	4,97
MN1702	6,00		3,39	0,06	0,08	0,15	3,62	50,70	3,95
MN1703			0,00	0,00	0,00			55,00	
MN1704	17,30	0,46	1,96	0,02	0,02	1,63	35,05	117,20	17,52
MN1705	2,45	0,75	8,50	0,16	0,15	6,40	2,52	44,96	2,75
MN1801	3,00	2,33	37,33	0,68	0,80	0,23	2,59	12,57	2,83
MN1802	5,00	1,91	31,29	0,57	0,78	0,47	4,50	14,22	4,91
MN1803	2,08	1,50	47,62	0,87	1,03	0,34	1,22	0,00	1,33
MN1804	8,30	1,30	19,56	0,36	0,67	0,11	7,43	12,54	8,11
MN1805	4,30	1,33	32,95	0,60	0,82	0,30	3,67	11,31	4,01
MN1806	2,00	0,66	21,80	0,41	0,54	0,26	1,97	28,62	2,14
MN19	4,00	1,00	27,84	0,52	0,74	0,36	3,76	18,97	4,10
MN20	2,30	0,71	11,73	0,21	0,27	0,17	0,05	40,32	0,05
MN21	16,00	0,50	3,09	0,06	0,18	1,47	14,67	49,71	16,00
MN22	6,00	0,81	22,13	0,41	0,70	0,21	5,77	21,75	6,30
MN23	6,02	0,50	21,71	0,40	0,69	0,18	5,49	20,94	5,99
MN24	8,00	1,00	22,51	0,42	0,79	0,24	7,50	18,58	8,18
MN25	2,30	1,00	26,78	0,50	0,66	0,39	2,41	23,61	2,63
MN26	6,30	1,00	24,44	0,46	0,77	0,28	6,04	18,85	6,58
MN28	7,00	0,65	25,43	0,47	0,70	0,23	6,69	19,39	7,30
MN30	8,30	1,48	12,45	0,24	0,65	0,07	8,80	17,83	9,60
MN31	5,36	1,66	11,94	0,23	0,50	0,07	5,58	27,92	6,09
MN32	11,30	0,66	16,66	0,32	0,73	0,42	10,42	25,90	11,36
MN33	6,35	1,00	23,01	0,43	0,67	0,26	5,90	20,71	6,43
MN34	6,20	1,13	24,80	0,46	0,66	0,14	6,51	20,55	7,10
MN35	6,40	1,16	24,73	0,47	0,73	0,46	6,11	20,40	6,66
MN36	6,20	1,00	20,23	0,38	0,64	0,31	5,81	25,79	6,34
MN37	3,00	2,00	26,75	0,52	0,63	0,75	2,68	23,32	2,92
MN38	6,00	1,25	4,34	0,08	0,18	0,10	6,32	45,93	6,89
MN39	7,00	1,66	7,02	0,13	0,25	0,23	6,36	44,15	6,93
MN40	0,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
MN41	9,20	1,00	14,15	0,26	0,49	0,12	9,09	24,08	9,91
MN42	6,00	1,00	12,95	0,24	0,33	1,13	5,55	38,31	6,05
MN43	2,25	1,00	30,64	0,59	0,75	0,54	2,20	18,73	2,40
MN80	7,15	0,90	9,43	0,18	0,32	0,20	6,95	39,06	7,58
MN81	6,30	0,66	11,62	0,22	0,37	0,20	6,15	36,41	6,70
MN82	4,10	1,33	15,99	0,31	0,48	0,22	4,09	32,24	4,46
MN83	6,15	1,33	14,01	0,27	0,44	0,28	5,76	34,39	6,28

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
MN1505	74	43,81	13,75	27,12	39,90	52,53	0,00	0,01
MN1506	238	9,69	6,21	10,20	14,20	18,19	0,59	0,66
MN1601	55	57,80	10,90	19,18	26,64	33,87	0,21	0,30
MN1602	70	19,49	11,23	20,68	30,06	39,44	0,18	0,25
MN1603	121	47,65	13,75	27,28	39,85	52,13	0,00	0,01
MN1604	61	86,10	13,75	27,16	40,00	52,51	0,00	0,01
MN1605			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN1606	104	15,05	10,08	18,08	26,08	34,07	0,27	0,34
MN1701	35785	7,45	10,96	20,42	29,89	39,35	0,20	0,26
MN1702	59	17,91	13,31	26,06	38,74	51,41	0,03	0,05
MN1703			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN1704	>100000	18,06	30,00	59,42	88,72	118,02	0,00	0,01
MN1705	>100000	3,23	11,61	22,85	34,09	45,33	0,16	0,17
MN1801	94	27,92	7,68	10,98	14,12	17,27	0,44	0,60
MN1802	422	16,97	8,00	11,57	15,12	18,68	0,42	0,58
MN1803	88	16,97	3,10	2,73	2,34	1,94	0,77	0,90
MN1804	119	59,37	12,06	17,40	20,93	24,14	0,12	0,37
MN1805	155	24,09	7,77	10,68	13,51	16,34	0,43	0,61
MN1806	75	19,32	9,50	16,71	23,86	31,02	0,31	0,39
MN19	175	18,80	8,57	13,34	18,08	22,82	0,38	0,51
MN20	55	20,98	11,30	21,47	31,56	41,64	0,18	0,22
MN21	>100000	17,61	13,75	26,29	38,72	51,15	0,00	0,04
MN22	149	29,90	10,88	16,67	22,13	27,56	0,21	0,39
MN23	118	34,98	10,98	16,78	22,06	27,30	0,20	0,39
MN24	271	30,47	11,42	16,50	21,16	25,80	0,17	0,40
MN25	112	15,02	8,32	14,23	20,14	26,04	0,39	0,48
MN26	241	25,63	10,37	15,27	19,98	24,69	0,25	0,44
MN28	204	30,40	11,10	16,34	21,21	26,05	0,19	0,41
MN30	91	86,01	13,09	21,36	27,15	32,08	0,05	0,22
MN31	70	68,13	12,57	21,59	29,25	36,45	0,09	0,21
MN32	3510	22,58	12,69	19,36	25,84	32,31	0,08	0,31
MN33	201	26,24	10,56	15,95	21,13	26,31	0,23	0,42
MN34	115	43,01	11,74	17,95	23,21	28,37	0,15	0,35
MN35	772	17,77	9,87	14,99	20,09	25,19	0,28	0,45
MN36	233	21,63	10,77	17,31	23,76	30,21	0,22	0,37
MN37	304	9,51	7,83	13,66	19,49	25,32	0,43	0,50
MN38	64	37,62	13,33	25,33	36,94	48,45	0,03	0,08
MN39	98	20,73	12,88	24,02	35,06	46,10	0,06	0,13
MN40			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN41	123	51,20	12,99	20,89	27,23	33,30	0,06	0,24
MN42	15578	9,40	11,39	20,96	30,54	40,12	0,17	0,24
MN43	151	12,15	6,94	11,62	16,30	20,98	0,50	0,58
MN80	109	26,54	12,71	22,75	32,53	42,30	0,08	0,17
MN81	109	26,03	12,29	21,64	30,75	39,85	0,11	0,21
MN82	94	23,42	11,11	19,30	27,37	35,43	0,19	0,30
MN83	156	20,75	11,71	20,39	28,99	37,59	0,15	0,26

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-44

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
MN1505	0,03	0,04	0,74	0,26	1,74	0,00	204	0,00
MN1506	0,68	0,70	0,52	1,52	20,39	-0,01	94	-2,41
MN1601	0,35	0,38	0,33	0,53	5,44	-0,02	282	-2,68
MN1602	0,27	0,28	0,72	0,93	9,59	-0,03	182	-4,89
MN1603	0,03	0,05	0,17	0,06	0,39	-0,01	187	-3,07
MN1604	0,03	0,05	0,37	0,33	1,22	-0,01	149	-1,38
MN1605	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN1606	0,37	0,38	3,68	8,10	67,55	-0,12	115	-0,59
MN1701	0,28	0,28	0,10	0,11	1,43	0,00	179	-5,88
MN1702	0,06	0,07	0,28	0,12	0,93			
MN1703	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN1704	0,01	0,02	0,28	0,08	0,54	0,00	221	0,00
MN1705	0,17	0,18	0,25	0,17	2,11	0,00	92	-2,27
MN1801	0,66	0,69	52,06	273,60	1943,23	0,62	369	-2,87
MN1802	0,63	0,66	40,42	92,12	1264,99	-0,94	242	-4,71
MN1803	0,94	0,96	59,16	181,24	2817,32	-2,38	275	-8,52
MN1804	0,49	0,56	64,20	91,47	1255,99	-1,65	282	-2,23
MN1805	0,67	0,70	76,78	184,24	2529,81	-3,02	353	-12,77
MN1806	0,42	0,44	38,48	96,67	838,83	0,25	222	-4,32
MN19	0,56	0,59	27,32	83,29	760,72	-0,07	235	-5,29
MN20	0,23	0,24	0,88	1,12	10,38	-0,04	906	-23,37
MN21	0,06	0,07	0,89	0,32	2,76	-0,04	98	-2,92
MN22	0,46	0,50	42,49	114,78	940,47	0,33	313	-1,27
MN23	0,47	0,50	51,08	117,16	1108,87	0,64	395	-6,77
MN24	0,49	0,53	59,97	157,32	1350,13	1,37	458	-8,87
MN25	0,51	0,53	19,63	61,99	525,64	-0,15	224	-4,69
MN26	0,52	0,55	56,00	164,69	1368,83	1,13	403	-6,61
MN28	0,49	0,53	62,27	251,88	1583,71	1,09	481	-4,61
MN30	0,34	0,42	40,20	55,13	500,54	-0,01	457	-1,46
MN31	0,29	0,34	31,97	39,61	381,78	0,11	384	-14,07
MN32	0,58	0,85	72,03	132,94	1200,20	0,70	436	-6,28
MN33	0,49	0,52	33,09	91,20	761,43	0,12		
MN34	0,44	0,48	76,79	387,84	1904,08	1,41	508	-1,22
MN35	0,51	0,54	40,62	114,38	1004,51	-0,25		
MN36	0,42	0,45	37,81	87,29	764,77	0,51		
MN37	0,53	0,54	29,75	100,31	795,79	0,11		
MN38	0,10	0,12	2,18	1,14	9,48	-0,16		
MN39	0,15	0,16	2,54	2,19	17,83	-0,18		
MN40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN41	0,34	0,39	16,46	30,37	232,91	-0,11		
MN42	0,26	0,27	3,15	4,78	40,79	-0,04		
MN43	0,60	0,62	2,73	9,64	83,77	-0,04		
MN80	0,21	0,23	4,97	5,31	46,88	0,06	2966	19,57
MN81	0,25	0,28	20,71	26,06	240,62	-0,07	1206	-4,76
MN82	0,34	0,36	27,83	48,07	445,12	-0,58	8443	-294,24
MN83	0,30	0,32	19,92	29,32	278,98	-0,30	3098	-311,62

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
MN1505	48,69	93,77	51,82	4,11	-0,05	51,83
MN1506	10,80	68,86	13,10	3,76	-0,37	12,27
MN1601	31,35	66,53	33,57	4,17	-0,21	31,34
MN1602	34,73	64,09	36,86	4,10	-0,15	35,66
MN1603	43,96	242,81	52,05	4,41	-0,13	52,10
MN1604	47,18	148,66	52,14	4,17	-0,06	51,96
MN1605						
MN1606	27,77	75,28	30,28	4,02	-0,19	29,29
MN1701	34,77	48,07	36,37	3,93	-0,11	35,68
MN1702	50,22	19,15	50,86	4,01	-0,02	50,94
MN1703						
MN1704	117,00	8,69	117,29	4,77	0,00	117,29
MN1705	44,87	2,11	44,94	3,79	0,01	45,38
MN1801	8,52	132,91	12,95	4,10	-0,44	13,48
MN1802	5,13	171,99	10,87	4,51	-0,62	10,99
MN1803				10,48	-5,86	0,00
MN1804	1,00	454,17	16,14	6,09	-0,98	15,88
MN1805	2,14	187,61	8,39	4,96	-0,83	8,38
MN1806	22,73	88,04	25,67	4,19	-0,30	23,94
MN19	9,23	166,23	14,77	4,41	-0,51	14,69
MN20	39,55	29,59	40,53	3,95	-0,08	39,59
MN21	40,49	178,96	46,45	4,42	-0,17	46,22
MN22	4,81	331,54	15,86	5,50	-0,81	15,56
MN23	8,59	290,01	18,26	5,21	-0,69	17,64
MN24				6,71	-1,27	10,88
MN25	15,87	104,57	19,35	4,12	-0,35	18,68
MN26	2,74	316,05	13,27	5,43	-0,84	13,28
MN28	7,49	312,95	17,92	4,90	-0,59	18,33
MN30	4,59	554,43	23,07	6,59	-1,05	20,47
MN31	24,34	220,97	31,70	4,98	-0,48	28,78
MN32				15,96	-4,39	2,81
MN33	6,99	276,52	16,21	5,04	-0,67	16,14
MN34	11,22	319,67	21,87	4,86	-0,52	22,44
MN35	8,35	218,27	15,63	4,58	-0,54	15,84
MN36	14,37	218,73	21,66	4,70	-0,49	20,91
MN37	18,26	64,70	20,41	3,70	-0,20	20,14
MN38	43,76	84,93	46,59	4,28	-0,13	45,64
MN39	38,89	107,08	42,46	4,25	-0,15	41,87
MN40						
MN41	12,03	437,25	26,60	5,44	-0,64	26,47
MN42	35,33	48,96	36,96	3,83	-0,07	37,06
MN43	12,03	89,59	15,02	3,96	-0,38	14,54
MN80	31,38	177,91	37,31	4,47	-0,25	36,68
MN81	29,24	168,77	34,86	4,44	-0,27	34,16
MN82	25,24	138,51	29,85	4,40	-0,31	28,60
MN83	25,91	164,07	31,38	4,41	-0,29	30,66

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-46

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
MN84	910817	0,7	1,9	1,3	30	55				
MN90	910815	0,5	0,7	0,6	30	55	0,12	3,53	4,44	
MN91	910815	0,2	0,3	0,3	30	55		8,00		
MN92	910815	0,5	1,2	0,8	30	55	0,00	4,13	5,50	
MN93	910815	0,1	3,4	1,8	30	55	0,01	3,09	5,10	
PE0101	900802	1,0	2,1	1,6	30	60		5,40		
PE0102	901216	5,8	25,0	15,4	30	60	0,01	0,45	1,13	
PE0103	910808	2,0	3,8	2,9	30	60	0,08	3,35	4,25	
PE0104	920207	6,2	9,1	7,7	30	60	0,01	2,49	4,42	
PE0105	920821	3,0	4,3	3,6	30	60	0,10	6,54	7,40	
PE0201	900802	0,6	2,2	1,4	9	120	0,00	1,20	1,30	
PE0202	901216	3,7	15,3	9,5	30	60	0,00	1,30	2,00	
PE0203	910808	2,0	3,8	2,9	30	60	0,01	6,30	7,10	
PE0204	920207	8,5	11,3	9,9	30	60	0,01	2,49	4,20	
PE0205	920821	2,3	5,4	3,9	30	60	0,04	8,00	10,03	
PE0301	900802	1,9	1,7	1,8	30	120	0,01	1,50	2,30	
PE0302	901216	8,2	16,8	12,5	30	60	0,00	2,40	3,20	
PE0303	910806	3,0	8,2	5,6	30	60	0,01	5,30	6,10	
PE0304	920207	9,6	12,3	10,9	35	60	0,00	2,47	3,20	
PE0305	920821	3,6	5,2	4,4	30	60	0,06	7,00	9,00	
PE0401	900802	2,0	2,8	2,4	90	60		4,00	0,00	
PE0402	901216	13,2	23,2	18,2	15	60	0,01	2,00	3,49	
PE0403	910808	13,2	0,0	6,6	15	60		8,00	20,20	
PE0404	920207	13,2	21,0	17,1	63	60	0,02	4,55	6,35	
PE0405	920821	5,3	5,4	5,3	63	60		20,00	34,00	
PE0501	900802	1,1	2,1	1,6	45	60	0,07	5,58	14,00	
PE0502	901216	8,4	15,0	11,7	30	60	0,00	1,30	2,20	
PE0503	910806	3,2	5,8	4,5	30	60	0,00	8,10	8,30	
PE0504	920207	11,3	13,1	12,2	30	60	0,00	3,00	3,45	
PE0505	920821	3,0	5,2	4,1	30	60	0,09	11,00	13,20	
PR0101	900203	6,3	15,8	11,0	31	55	0,01	1,00		2,00
PR0102	900316	1,3	7,6	4,4	31	55	0,02	1,31		2,20
PR0103	900604	1,5	4,7	3,1	30	55	0,02	3,10	3,48	3,50
PR0104	900714	1,8	3,0	2,4	31	55	0,04	2,37	3,40	2,40
PR0105	900724	0,6	1,8	1,2	30	55	0,02	2,40	3,02	8,00
PR0106	901109	24,4	6,7	15,5	30	55	0,00	0,40	1,00	
PR0201	900203	19,6	15,8	17,7	30	55	0,05	6,54		
PR0202	900316	1,8	4,8	3,3	35	55	0,06	6,41		
PR0203	900604	2,1	5,4	3,7	60	55	0,11	0,00	7,30	
PR0204	900714	1,4	2,6	2,0	84	55	0,16	13,00	14,00	
PR0205	900725	0,6	3,5	2,0	40	110	0,03	4,15		
PR0206	901109	18,3	9,6	13,9	40	55	0,02	2,00	2,30	
PR0207	910104	18,2	10,5	14,3	30	55	0,01	1,10	2,00	
PR0301	900203	4,4	9,1	6,8	30	55	0,02	2,00		1,12
PR0302	900216	1,5	1,7	1,6	30	55	0,01	3,45		2,47
PR0303	900604	1,2	2,0	1,6	20	110	0,00	1,36	1,46	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-47

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
MN84	0,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
MN90	8,10	0,25	1,81	0,03	0,07	0,09	6,90	50,91	7,53
MN91	0,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
MN92	23,30	1,33	0,58	0,01	0,08			46,07	
MN93	6,00	0,50	11,17	0,21	0,29	0,50	5,37	40,12	5,86
PE0101	0,00		0,00	0,00	0,00			60,00	
PE0102	1,30	0,66	46,71	0,78	0,88	0,44	1,07	7,39	1,07
PE0103	10,00	0,33	2,22	0,04	0,06	0,15	9,09	55,14	9,09
PE0104	5,10	1,50	23,11	0,40	0,63	0,19	4,56	26,01	4,56
PE0105	12,00	0,83	1,68	0,03	0,07	0,20	11,78	56,35	11,78
PE0201	2,00		42,01	0,35	0,51	1,00	4,05	53,51	2,02
PE0202	2,45	2,83	40,10	0,67	0,78	1,06	2,68	14,56	2,68
PE0203	8,00	0,50	15,35	0,26	0,36	3,95	8,00	39,00	8,00
PE0204	4,30	1,83	23,91	0,42	0,55	0,84	4,50	30,21	4,50
PE0205	12,00	0,66	4,55	0,08	0,21	0,29	11,63	51,49	11,63
PE0301	2,52	0,75	11,90	0,20	0,25	0,31	5,13	81,85	2,57
PE0302	4,00	2,66	34,35	0,57	0,67	1,12	4,01	18,93	4,01
PE0303	8,00	1,28	11,21	0,19	0,29	1,37	7,97	44,28	7,97
PE0304	6,10	2,66	22,35	0,40	0,57	2,79	6,16	31,71	6,16
PE0305	10,30	1,00	2,83	0,05	0,10	0,36	9,69	55,28	9,69
PE0401			0,00	0,00	0,00			60,00	
PE0402	4,45		21,89	0,39	0,71	0,44	4,66	13,75	4,66
PE0403			0,00	0,00	0,00			60,00	
PE0404	8,00	0,84	6,61	0,11	0,06	2,21	8,01	51,84	8,01
PE0405			0,00	0,00	0,00			60,00	
PE0501	15,00		2,78	0,05	0,08	0,93	14,90	55,62	14,90
PE0502	4,00		25,02	0,45	0,52	1,04	3,69	24,77	4,03
PE0503	9,00	1,00	3,31	0,06	0,06				
PE0504	4,10	1,75	22,67	0,40	0,45	1,43	4,18	32,30	4,18
PE0505	15,00	0,83	1,53	0,03	0,07	0,50	15,09	56,59	15,09
PR0101	2,30	3,08	25,08	0,46	0,58	0,22	2,15	22,46	2,35
PR0102	3,07	2,48	19,07	0,35	0,47	0,17	2,50	28,75	2,73
PR0103	5,00	2,83	17,96	0,33	0,47	0,20	4,40	28,11	4,80
PR0104	4,00	2,50	17,24	0,31	0,51	0,06	1,17	21,18	1,27
PR0105	3,30	0,65	19,06	0,35	0,48	0,21	2,98	29,14	3,25
PR0106	2,00	1,91	36,54	0,66	0,76	1,25	1,74	15,09	1,90
PR0201	7,00	1,41	4,33	0,08	0,13	0,15	4,80	47,90	5,24
PR0202	8,00	0,58	1,88	0,03	0,04	0,99	7,30	52,19	7,96
PR0203	7,45	1,00	5,34	0,10	0,13	0,05	1,71	46,81	1,86
PR0204	15,00	1,60	3,67	0,07	0,10	0,06	8,92	49,54	9,73
PR0205	5,00	0,91	11,14	0,10	0,15	0,10	8,53	92,39	4,65
PR0206	3,00	1,31	9,06	0,16	0,20	0,36	2,63	44,40	2,86
PR0207	2,15		11,92	0,22	0,24	0,35	1,63	40,94	1,78
PR0301	4,00	1,33	19,53	0,36	0,51	0,15	2,87	26,34	3,13
PR0302	3,30	1,56	19,55	0,36	0,42	0,59	3,11	31,63	3,39
PR0303	1,50	1,46	51,94	0,47	0,57	0,48	2,64	47,81	1,44

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-48

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
MN84			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN90	59	30,31	13,59	26,59	39,39	52,13	0,01	0,03
MN91			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
MN92								
MN93	312	13,13	11,86	21,89	31,92	41,95	0,14	0,20
PE0101			15,00	30,00	45,00	60,00	0,00	0,00
PE0102	91	16,10	4,37	6,22	8,07	9,92	0,71	0,79
PE0103	75	23,30	14,81	28,77	42,58	56,36	0,01	0,04
PE0104	106	30,50	11,43	18,29	24,82	31,32	0,24	0,39
PE0105	93	21,33	14,93	29,16	43,26	57,34	0,00	0,03
PE0201	557	6,85	16,25	29,63	43,01	56,39	0,46	0,51
PE0202	789	8,09	5,98	9,62	13,26	16,90	0,60	0,68
PE0203	>100000	9,01	12,56	22,31	32,06	41,81	0,16	0,26
PE0204	1341	9,96	10,11	17,66	25,22	32,77	0,33	0,41
PE0205	298	21,32	14,78	27,81	40,68	53,56	0,01	0,07
PE0301	167	14,79	23,76	44,25	64,72	85,18	0,21	0,26
PE0302	3676	8,81	7,80	12,54	17,27	22,00	0,48	0,58
PE0303	853538	10,58	13,24	24,31	35,38	46,45	0,12	0,19
PE0304	>100000	7,77	10,81	18,73	26,66	34,59	0,28	0,38
PE0305	211	15,64	14,73	28,58	42,40	56,22	0,02	0,05
PE0401			15,00	30,00	45,00	60,00	0,00	0,00
PE0402	368	17,96	8,38	11,83	15,27	18,70	0,44	0,61
PE0403			15,00	30,00	45,00	60,00	0,00	0,00
PE0404	>100000	9,26	14,07	27,03	39,99	52,95	0,06	0,10
PE0405			15,00	30,00	45,00	60,00	0,00	0,00
PE0501	>100000	17,11	14,99	28,94	42,85	56,75	0,00	0,04
PE0502	1999	8,66	8,49	14,69	20,88	27,07	0,38	0,47
PE0503								
PE0504	11155	7,29	10,11	18,18	26,26	34,33	0,33	0,39
PE0505	6332	18,69	15,00	29,24	43,39	57,53	0,00	0,03
PR0101	76	25,47	8,99	14,74	20,36	25,98	0,35	0,46
PR0102	71	29,10	10,43	17,88	25,09	32,28	0,24	0,35
PR0103	97	27,97	10,95	18,24	25,29	32,31	0,20	0,34
PR0104	58	83,97	11,08	18,68	24,90	30,56	0,19	0,32
PR0105	81	24,12	10,33	17,75	25,04	32,33	0,25	0,35
PR0106	442	6,36	5,26	9,03	12,81	16,58	0,62	0,67
PR0201	64	23,12	13,15	25,28	37,27	49,25	0,04	0,08
PR0202	7232	9,67	13,45	26,50	39,54	52,59	0,02	0,04
PR0203	56	54,85	13,21	25,58	37,58	49,42	0,04	0,07
PR0204	59	52,20	13,67	26,72	39,39	51,90	0,01	0,03
PR0205	120	35,11	26,29	50,20	73,48	96,63	0,04	0,09
PR0206	75	11,56	12,00	23,10	34,20	45,30	0,13	0,16
PR0207	67	11,92	11,20	21,44	31,68	41,91	0,19	0,22
PR0301	72	34,17	10,52	17,54	24,17	30,76	0,24	0,36
PR0302	206	10,65	9,68	17,59	25,50	33,41	0,30	0,36
PR0303	172	11,62	15,07	27,03	38,98	50,94	0,45	0,51

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
MN84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN90	0,05	0,05	0,76	0,16	1,37	-0,10	1287	-0,60
MN91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
MN92			2,47	0,17	1,44	-0,09	1387	8,12
MN93	0,23	0,24	29,11	39,08	325,24	-0,88	5160	-421,15
PE0101	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PE0102	0,82	0,83	2,86	12,38	133,46	-0,18	274	-12,80
PE0103	0,05	0,06	0,50	0,10	1,11			
PE0104	0,45	0,48	0,65	1,46	15,01	0,02		
PE0105	0,04	0,04	0,13	0,02	0,23	0,00		
PE0201	0,52	0,53	2,47	2,66	103,72	-0,48	602	-65,33
PE0202	0,71	0,72	1,17	4,25	46,95	-0,04	337	-20,88
PE0203	0,29	0,30	0,24	0,33	3,63	-0,01		
PE0204	0,44	0,45	0,80	1,85	19,21	-0,01		
PE0205	0,10	0,11	0,21	0,09	0,97	-0,01		
PE0301	0,28	0,29	5,13	7,34	61,00	-0,84	450	-31,10
PE0302	0,62	0,63	1,51	6,24	51,87	-0,05	325	-17,45
PE0303	0,21	0,23	0,22	0,30	2,52	-0,01	146	-4,77
PE0304	0,41	0,42	0,75	2,51	16,87	-0,01		
PE0305	0,06	0,06	0,18	0,06	0,51	-0,02	148	-5,01
PE0401	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PE0402	0,66	0,69	2,18	3,37	47,77	-0,01	112	-10,58
PE0403	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PE0404	0,11	0,12	0,76	1,50	5,02	-0,01		
PE0405	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PE0501	0,05	0,05	1,07	0,50	2,96	0,01	1017	-36,77
PE0502	0,49	0,51	16,36	46,35	409,35	1,05	166	-7,15
PE0503			0,57	0,21	1,88	-0,01		
PE0504	0,42	0,43	0,79	2,15	17,92	-0,01		
PE0505	0,04	0,04	2,25	0,40	3,44	-0,75		
PR0101	0,51	0,53	1,25	3,68	31,30	-0,13	703	-8,25
PR0102	0,39	0,41	2,29	5,23	43,76	-0,11	368	-12,78
PR0103	0,39	0,41	4,11	8,52	73,77	-0,23	177	-4,61
PR0104	0,40	0,44	2,26	4,65	38,97	-0,07	215	-7,26
PR0105	0,39	0,41	1,99	4,38	37,93	-0,05	182	-4,00
PR0106	0,69	0,70	66,21	279,59	2419,44	0,50	199	-2,10
PR0201	0,10	0,10	0,64	0,30	2,79	-0,03	671	-5,99
PR0202	0,04	0,04	0,51	0,12	0,95	0,01	192	-1,89
PR0203	0,09	0,10	0,24	0,28	1,29	0,00	176	-3,09
PR0204	0,05	0,06	0,15	0,16	0,54	-0,01		
PR0205	0,11	0,12	0,41	0,65	4,53	-0,03	172	-5,52
PR0206	0,17	0,18	1,93	2,50	17,53	-0,06	234	-6,67
PR0207	0,23	0,24	0,79	1,04	9,39	-0,04	150	-0,99
PR0301	0,41	0,44	1,17	2,41	22,84	-0,07	583	-2,00
PR0302	0,38	0,39	2,98	6,14	58,18	0,06	187	-3,47
PR0303	0,53	0,54	7,85	28,69	407,66	0,03	130	-5,15

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
MN84						
MN90	50,15	39,87	51,48	4,10	-0,05	51,19
MN91						
MN92	46,07	166,67	51,63	4,35	-0,12	51,60
MN93	36,15	69,62	38,47	4,00	-0,10	38,24
PE0101						
PE0102	3,55	69,59	5,87	4,03	-0,72	4,84
PE0103	53,43	54,08	55,23	4,20	-0,06	54,97
PE0104	16,97	204,85	23,80	4,75	-0,48	22,41
PE0105	53,73	68,51	56,02	4,23	-0,06	55,88
PE0201	28,06	161,06	33,43	4,92	-0,50	25,03
PE0202	8,73	78,76	11,36	3,68	-0,36	11,70
PE0203	35,41	60,84	37,44	3,95	-0,10	37,03
PE0204	23,47	100,18	26,81	4,01	-0,22	26,51
PE0205	45,23	145,61	50,09	4,39	-0,14	49,80
PE0301	73,88	122,03	77,95	4,92	-0,20	69,29
PE0302	13,44	84,94	16,27	3,59	-0,22	17,08
PE0303	41,23	57,99	43,17	4,03	-0,08	42,86
PE0304	27,68	62,35	29,76	3,78	-0,12	29,48
PE0305	52,99	48,87	54,62	4,17	-0,05	54,40
PE0401						
PE0402				5,96	-1,30	4,62
PE0403						
PE0404	55,84	-98,33	52,57	3,59	0,11	51,85
PE0405						
PE0501	54,24	41,73	55,63	4,11	-0,03	55,70
PE0502	20,83	63,49	22,95	3,60	-0,13	23,56
PE0503	58,97	-64,63	56,82	3,80	0,07	57,23
PE0504	29,36	40,23	30,70	3,60	-0,05	31,19
PE0505	52,95	86,02	55,82	4,25	-0,07	55,76
PR0101	18,54	101,99	21,94	4,22	-0,35	20,48
PR0102	25,78	97,27	29,02	4,23	-0,27	27,54
PR0103	21,81	160,49	27,16	4,48	-0,36	26,12
PR0104	26,13	118,95	30,09	4,41	-0,32	27,84
PR0105	24,83	106,43	28,38	4,26	-0,29	26,94
PR0106	11,64	42,31	13,05	3,49	-0,30	12,05
PR0201	46,58	43,78	48,04	4,07	-0,06	47,67
PR0202	52,02	5,08	52,19	3,96	0,00	52,25
PR0203	46,72	50,94	48,41	4,06	-0,05	48,72
PR0204	48,65	75,31	51,16	4,08	-0,04	51,37
PR0205	91,29	98,14	94,56	4,81	-0,08	93,99
PR0206	43,17	28,20	44,11	3,94	-0,05	44,07
PR0207	39,52	27,88	40,45	3,92	-0,07	39,80
PR0301	22,96	122,91	27,05	4,34	-0,32	25,56
PR0302	29,29	43,73	30,75	3,71	-0,08	30,68
PR0303	41,77	87,95	44,70	4,46	-0,22	40,43

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-51

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
PR0304	900714	1,0	3,1	2,1	30	55	0,03	5,40	6,30	
PR0305	900725	1,0	1,2	1,1	30	55	0,07	5,51	6,00	3,00
PR0306	901111	3,1	10,7	6,9	30	55	0,01	1,50	2,53	1,45
PR0401	900203	2,7	8,2	5,4	30	55	0,01	2,18	2,40	1,20
PR0402	900216	1,3	4,6	2,9	30	55	0,09	2,56	4,56	4,40
PR0403	900604	1,2	2,1	1,6	30	55	0,02	3,30	4,45	
PR0404	900713	1,4	2,9	2,1	30	55	0,02	3,30	3,50	4,10
PR0405	900725	0,9	1,3	1,1	30	55	0,01	4,00	4,10	
PR0406	901111	10,4	9,1	9,7	30	55	0,01	1,20	2,40	
PR0501	900203	3,1	15,1	9,1	32	55	0,02	3,15	3,50	2,42
PR0502	900316	2,4	6,9	4,7	30	55	0,01	3,46	4,21	4,05
PR0503	900604	1,1	6,2	3,7	30	55	0,07	2,30	2,50	5,30
PR0504	900713	1,1	0,0	0,6	30	55	0,03	4,30	4,45	8,30
PR0505	900725	1,2	3,3	2,2	40	55	0,09	7,50	8,00	
PR0506	901111	7,9	7,7	7,8	30	55	0,02	1,10	2,00	10,00
PR0601	900604	0,7	2,5	1,6	30	55	0,02	4,15	4,20	4,00
PR0602	900825	0,8	1,9	1,3	14	55	0,01	1,26	1,55	2,26
PR0603	901111	4,1	11,2	7,6	30	55	0,00	0,40	2,30	1,59
PR0701	900604	0,9	3,2	2,0	30	55	0,01	3,35	3,45	3,45
PR0703	900825	0,4	1,5	1,0	17	110	0,00	2,18	2,28	
PR0704	901110	3,6	7,8	5,7	30	55	0,00	1,20	2,10	2,50
PR0801	900707	1,5	3,7	2,6	30	55	0,01	2,15	3,20	8,00
PR0802	900714	1,1	2,9	2,0	30	55	0,01	3,20	5,10	10,00
PR0803	900725	1,1	2,4	1,8	30	55	0,01	2,11	3,55	8,15
PR0804	901111	6,8	6,9	6,8	30	55	0,01	1,00	1,45	5,30
PR0805	910802	1,0	1,0	1,0	30	55	0,01	2,30	4,12	9,00
PR0901	900707	2,4	4,0	3,2	30	55	0,01	3,46	5,00	
PR0902	900714	2,1	3,4	2,7	30	55	0,01	4,35	5,15	
PR0903	900724	0,4	2,2	1,3	30	55	0,04	6,00	6,20	6,00
PR0904	901109	10,5	10,0	10,2	30	55	0,00	1,30	1,45	
PR1001	900707	1,0	2,3	1,7	30	55	0,01	2,30	3,00	5,00
PR1002	900724	0,7	3,2	2,0	30	55	0,01	2,45	3,30	8,00
PR1003	901109	8,6	7,9	8,2	30	55	0,00	1,00	1,45	3,40
PR1004	910718	0,6	0,6	0,6	30	55	0,02	2,10	2,40	
PR1101	900707	1,4	2,7	2,0	30	55	0,01	1,37	1,50	6,00
PR1102	900724	1,9	4,0	2,9	30	55	0,01	2,30	2,25	7,00
PR1103	900826	1,0	2,0	1,5	20	110	0,01	0,50	1,10	4,39
PR1104	901109	15,8	9,9	12,9	30	55	0,01	1,20	1,50	2,15
PR1201	900707	0,6	1,3	0,9	30	55	0,01	1,30	2,05	2,00
PR1202	900724	0,6	1,2	0,9	30	55	0,01	2,40	2,45	3,00
PR1203	900826	0,4	1,2	0,8	20	110	0,01	0,40	1,20	1,30
PR1204	901109	8,9	9,5	9,2	30	55	0,00	0,50	1,10	
PR1301	900707	2,0	2,6	2,3	30	55	0,00	1,30	3,00	7,05
PR1302	900724	1,7	5,0	3,4	30	55	0,01	2,30	2,49	9,30
PR1303	900826	1,9	2,9	2,4	20	110	0,01	0,48	1,15	1,05
PR1304	901109	11,4	9,6	10,5	30	55	0,01	1,20	1,40	2,30

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
PR0304	6,30	1,33	13,75	0,25	0,42	0,12	4,70	30,68	5,12
PR0305	6,30	1,33	5,11	0,09	0,17	0,08	3,49	44,73	3,81
PR0306	3,30	1,08	25,94	0,47	0,61	0,30	2,52	22,54	2,74
PR0401	3,00	2,00	16,39	0,30	0,39	0,29	2,05	35,04	2,24
PR0402	5,00	1,11	5,41	0,10	0,17	0,05	3,76	41,41	4,10
PR0403	5,00	1,83	11,30	0,21	0,29	0,30	4,12	39,67	4,50
PR0404	4,30	1,66	21,16	0,38	0,58	0,13	3,59	20,45	3,92
PR0405	4,25	2,05	35,52	0,65	0,78	0,61	3,94	10,69	4,29
PR0406	3,00	1,33	27,39	0,50	0,61	0,35	2,57	21,45	2,81
PR0501	4,00	1,51	18,03	0,33	0,49	0,12	3,03	27,11	3,30
PR0502	4,30	2,00	14,31	0,26	0,33	0,49	3,87	37,11	4,22
PR0503	3,00	1,51	10,93	0,20	0,32	0,04	1,62	26,60	1,77
PR0504	5,00		11,72	0,21	0,33	0,11	4,31	34,07	4,70
PR0505	9,30	1,00	5,04	0,09	0,17	0,06	7,57	43,13	8,26
PR0506	4,30	0,83	16,63	0,30	0,41	0,22	3,77	31,65	4,11
PR0601	4,30	2,16	19,77	0,36	0,51	0,22	3,87	27,19	4,22
PR0602	2,05	0,83	17,37	0,32	0,46	0,35	1,97	28,07	2,15
PR0603	3,00	1,16	27,93	0,51	0,58	0,88	2,71	22,65	2,96
PR0701	4,00	2,33	16,38	0,30	0,37	0,27	3,68	32,80	4,01
PR0703	2,40	1,15	43,55	0,40	0,51	0,76	4,88	53,63	2,66
PR0704	3,00	1,66	40,99	0,75	0,87	0,84	2,62	7,86	2,86
PR0801	4,00	1,50	25,74	0,47	0,65	0,24	3,92	18,97	4,27
PR0802	6,30		22,26	0,40	0,62	0,25	5,97	20,74	6,51
PR0803	6,48	2,00	29,64	0,54	0,93	0,13	6,17	0,00	6,73
PR0804	3,50	1,33	34,56	0,63	0,79	0,46	3,50	11,80	3,82
PR0805	5,00	1,50	20,24	0,39	0,62	0,24	4,72	25,82	5,15
PR0901	5,30	2,08	22,10	0,40	0,56	0,27	5,02	23,03	5,47
PR0902	5,30	1,50	19,14	0,35	0,47	0,39	4,80	29,17	5,24
PR0903	7,00		9,80	0,18	0,32	0,09	5,52	34,16	6,02
PR0904	2,00	2,16	45,19	0,82	0,92	0,91	1,88	4,47	2,05
PR1001	3,15	1,20	36,96	0,67	0,85	0,37	3,01	8,78	3,28
PR1002	4,00	1,25	26,87	0,49	0,69	0,19	3,57	16,48	3,89
PR1003	2,00	0,50	47,07	0,86	0,97	1,39	1,81	3,96	1,98
PR1004	5,00	1,00	12,30	0,23	0,36	0,26	4,58	37,95	5,00
PR1101	4,25	1,00	39,86	0,72	0,94	0,33	4,02	2,08	4,39
PR1102	4,00	1,05	35,06	0,64	0,86	0,23	3,65	6,57	3,98
PR1103	1,30	1,00	58,73	0,53	0,81	0,15	3,78	9,51	2,06
PR1104	2,10	1,00	51,04	0,93	1,04	0,71	1,91	0,00	2,08
PR1201	2,15	2,00	43,51	0,79	0,94	0,41	1,68	4,52	1,83
PR1202	3,00	2,00	25,73	0,47	0,62	0,22	2,04	21,81	2,22
PR1203	2,00	1,83	61,75	0,56	0,82	0,12	0,25	9,18	0,13
PR1204	1,25	1,33	49,62	0,90	0,96	1,19	1,04	2,01	1,13
PR1301	3,15	1,00	44,01	0,80	0,97	0,85	2,93	3,61	3,19
PR1302	4,00	1,50	33,07	0,60	0,84	0,21	3,23	9,38	3,52
PR1303	1,30	1,00	62,64	0,57	0,86	0,16	2,49	10,72	1,36
PR1304	2,00	0,83	51,04	0,93	1,02	1,23	1,82	0,00	1,98

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
PR0304	75	41,91	11,96	20,46	28,27	35,96	0,13	0,26
PR0305	59	43,70	13,06	24,84	36,21	47,45	0,05	0,10
PR0306	96	19,43	8,62	14,30	19,94	25,57	0,37	0,48
PR0401	74	16,05	10,45	19,24	28,00	36,76	0,24	0,30
PR0402	58	71,62	13,12	24,78	35,74	46,37	0,05	0,10
PR0403	98	16,74	11,76	21,71	31,63	41,55	0,14	0,21
PR0404	77	44,86	10,61	16,63	21,88	27,02	0,23	0,40
PR0405	628	14,12	6,67	9,35	12,02	14,69	0,51	0,66
PR0406	112	17,06	8,21	13,59	18,96	24,32	0,40	0,51
PR0501	69	41,83	11,05	18,57	25,47	32,27	0,20	0,32
PR0502	176	12,20	11,00	20,28	29,56	38,83	0,20	0,26
PR0503	57	114,54	12,21	21,85	30,11	37,63	0,11	0,21
PR0504	69	41,68	12,17	21,46	30,12	38,66	0,11	0,22
PR0505	62	66,19	13,49	25,59	36,93	47,95	0,02	0,07
PR0506	90	23,58	10,94	18,99	26,91	34,82	0,20	0,31
PR0601	98	25,20	10,45	17,41	24,22	31,01	0,24	0,37
PR0602	85	15,16	9,03	16,06	23,07	30,09	0,34	0,42
PR0603	465	8,57	7,63	13,29	18,95	24,62	0,45	0,52
PR0701	98	19,80	10,83	19,09	27,29	35,49	0,21	0,31
PR0703	482	8,76	16,65	30,05	43,46	56,87	0,39	0,45
PR0704	532	10,44	4,76	6,72	8,69	10,65	0,65	0,76
PR0801	118	26,46	9,37	14,28	19,03	23,77	0,32	0,48
PR0802	193	27,10	10,67	16,09	21,28	26,47	0,22	0,41
PR0803	132	27,10	10,48	12,23	12,26	12,02	0,24	0,56
PR0804	257	16,78	6,91	9,87	12,82	15,77	0,50	0,64
PR0805	125	25,06	10,59	17,22	23,67	30,13	0,23	0,37
PR0901	161	23,92	10,26	16,15	21,91	27,67	0,25	0,41
PR0902	232	16,64	10,41	17,72	25,01	32,31	0,24	0,36
PR0903	70	51,72	12,68	22,43	31,29	39,91	0,08	0,18
PR0904	332	9,77	3,39	4,51	5,63	6,75	0,75	0,84
PR1001	163	20,29	6,40	8,62	10,81	13,01	0,53	0,69
PR1002	98	32,38	9,29	13,75	17,89	22,01	0,32	0,50
PR1003	794	7,14	2,94	3,93	4,91	5,90	0,79	0,86
PR1004	102	19,43	11,78	21,34	30,82	40,31	0,14	0,22
PR1101	229	28,06	6,54	7,12	7,65	8,17	0,52	0,74
PR1102	130	32,09	7,67	9,54	11,19	12,83	0,44	0,65
PR1103	146	49,03	14,76	18,52	21,04	23,44	0,46	0,66
PR1104	250	49,03	2,21	1,50	0,78	0,07	0,84	0,95
PR1201	110	19,16	4,32	5,46	6,59	7,72	0,69	0,80
PR1202	76	24,92	8,77	14,35	19,81	25,26	0,36	0,48
PR1203	112	58,28	13,45	17,57	20,17	22,51	0,51	0,68
PR1204	205	7,76	1,84	2,34	2,85	3,35	0,87	0,91
PR1301	781	11,73	4,22	5,12	6,03	6,93	0,69	0,81
PR1302	106	32,68	7,94	10,55	12,91	15,26	0,42	0,62
PR1303	134	45,05	13,52	17,25	20,03	22,71	0,51	0,69
PR1304	648	45,05	1,95	1,67	1,40	1,12	0,86	0,94

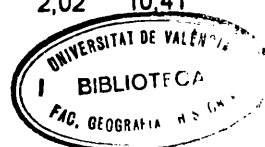
Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-54

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
PR0304	0,31	0,35	4,21	6,12	57,96	-0,28	180	-4,92
PR0305	0,12	0,14	5,10	2,75	26,05	0,12	116	-1,66
PR0306	0,52	0,54	2,26	6,18	58,58	-0,06	162	-1,28
PR0401	0,32	0,33	0,27	0,51	4,37	0,00	501	-3,32
PR0402	0,13	0,16	0,27	0,17	1,44	0,00	200	-4,01
PR0403	0,23	0,24	0,76	0,99	8,56	0,01	174	-3,63
PR0404	0,47	0,51	0,36	0,89	7,68	0,01	270	-10,09
PR0405	0,71	0,73	0,18	0,75	6,44	-0,01	134	-2,87
PR0406	0,54	0,56	0,70	2,22	19,09	-0,02	261	-6,22
PR0501	0,38	0,41	13,47	28,48	242,81	0,08	713	-8,62
PR0502	0,28	0,29	10,10	15,89	144,52	-0,02	240	-6,91
PR0503	0,27	0,32	8,67	10,42	94,76	0,02	164	-3,24
PR0504	0,27	0,30	7,54	9,72	88,41	0,22	178	-3,43
PR0505	0,10	0,13	33,70	24,89	169,76	-0,37	165	-2,59
PR0506	0,35	0,37	42,18	77,13	701,44	-1,45	166	-6,88
PR0601	0,41	0,44	1,38	2,83	27,37	-0,15	205	-2,03
PR0602	0,44	0,45	1,75	1,47	30,43	-0,29	241	-15,11
PR0603	0,54	0,55	1,98	5,71	55,27	-0,12	170	-0,40
PR0701	0,34	0,35	0,47	0,55	7,65	-0,01	198	-5,51
PR0703	0,47	0,48	2,51	4,44	109,33	0,06	178	-8,04
PR0704	0,79	0,81	0,96	2,82	39,39	-0,02	173	-1,88
PR0801	0,54	0,57	56,33	143,13	1450,02	-0,81	371	-13,76
PR0802	0,48	0,52	52,63	115,64	1171,59	-0,47	265	-3,87
PR0803	0,70	0,78	54,23	158,67	1607,47	0,48	270	-5,98
PR0804	0,69	0,71	54,62	186,32	1887,57	-0,28	399	-9,20
PR0805	0,43	0,45	54,49	113,82	1102,81	0,18	261	-4,93
PR0901	0,47	0,50	0,46	1,23	10,22	-0,05	263	-8,07
PR0902	0,39	0,41	0,20	0,48	3,90	0,01	182	-5,67
PR0903	0,24	0,27	0,45	0,54	4,38	-0,02	155	-3,71
PR0904	0,86	0,88	0,54	3,02	24,28	-0,02	203	-8,67
PR1001	0,74	0,76	31,45	76,59	1162,37	0,28	390	-17,80
PR1002	0,57	0,60	23,79	42,13	639,36	0,26	354	-11,68
PR1003	0,88	0,89	29,79	92,40	1402,40	0,00	461	-13,36
PR1004	0,25	0,27	20,08	24,46	246,98	0,47	268	-6,10
PR1101	0,81	0,85	61,98	223,60	2470,72	-0,33	673	-20,18
PR1102	0,73	0,77	51,67	163,96	1811,71	1,01	715	-32,32
PR1103	0,74	0,79	46,65	165,30	2739,78	0,81	552	-24,96
PR1104	0,98	1,00	76,06	351,29	3881,63	0,77	1007	-2,90
PR1201	0,84	0,86	1,47	5,94	63,82	0,15	136	-1,33
PR1202	0,52	0,54	1,38	3,30	35,49	-0,04	196	-5,35
PR1203	0,76	0,80	1,31	5,02	80,88	-0,03	146	-15,40
PR1204	0,93	0,94	1,16	5,36	57,57	-0,01	135	-4,41
PR1301	0,85	0,87	85,16	281,18	3747,64	0,79	633	-18,90
PR1302	0,69	0,72	69,06	171,35	2283,83	0,99	502	-15,42
PR1303	0,76	0,79	67,59	211,76	4233,65	0,45	478	-11,58
PR1304	0,97	0,98	80,08	306,68	4087,53	1,46	1225	-39,18

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
PR0304	26,88	162,52	32,30	4,48	-0,31	31,11
PR0305	44,58	59,88	46,58	4,13	-0,09	45,97
PR0306	17,74	97,33	20,98	4,11	-0,33	19,83
PR0401	32,93	45,91	34,46	3,94	-0,13	33,43
PR0402	44,14	62,22	46,21	4,19	-0,11	45,25
PR0403	36,23	73,03	38,66	4,11	-0,14	37,95
PR0404	16,72	177,53	22,64	4,71	-0,49	20,89
PR0405	4,00	120,00	8,00	3,52	-0,37	9,44
PR0406	15,99	100,64	19,34	4,07	-0,34	18,73
PR0501	24,65	130,80	29,01	4,40	-0,32	27,57
PR0502	34,50	49,54	36,15	3,90	-0,10	35,70
PR0503	37,15	65,18	39,32	4,24	-0,19	36,87
PR0504	31,71	127,07	35,95	4,39	-0,25	34,54
PR0505	42,73	118,31	46,67	4,29	-0,13	46,64
PR0506	26,89	114,76	30,72	4,26	-0,26	29,68
PR0601	21,17	142,95	25,93	4,40	-0,35	24,88
PR0602	22,64	74,71	25,13	4,23	-0,36	20,31
PR0603	18,64	60,04	20,64	3,64	-0,18	20,75
PR0701	28,05	104,14	31,52	4,20	-0,23	30,67
PR0703	40,31	144,94	45,15	4,67	-0,28	41,43
PR0704	2,00	89,00	4,97	3,90	-0,66	5,27
PR0801	10,42	191,35	16,80	4,71	-0,56	16,30
PR0802	8,57	277,68	17,83	5,02	-0,63	17,94
PR0803				8,61	-2,20	3,07
PR0804	3,17	153,43	8,28	4,36	-0,63	9,18
PR0805	15,56	204,91	22,39	4,68	-0,47	21,66
PR0901	13,74	204,15	20,55	4,62	-0,47	20,24
PR0902	22,81	128,19	27,09	4,19	-0,27	26,66
PR0903	32,09	159,08	37,40	4,49	-0,26	36,19
PR0904				3,33	-0,65	3,10
PR1001	0,18	161,37	5,56	4,64	-0,82	6,41
PR1002	9,39	189,51	15,71	4,79	-0,61	14,84
PR1003				4,17	-1,21	1,06
PR1004	32,54	105,06	36,04	4,19	-0,18	35,36
PR1101				7,13	-2,35	0,42
PR1102				5,61	-1,17	5,15
PR1103	18,62	215,54	25,81	5,54	-0,84	14,74
PR1104				8,16	-5,84	0,00
PR1201				4,62	-1,10	2,38
PR1202	17,88	100,32	21,22	4,22	-0,37	19,56
PR1203	17,18	189,24	23,49	5,34	-0,77	15,34
PR1204				2,04	-0,64	0,89
PR1301				5,39	-1,65	0,80
PR1302	1,32	199,74	7,98	5,20	-0,93	7,73
PR1303	16,83	194,35	23,31	5,47	-0,85	13,00
PR1304				2,74	-2,98	0,00

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
PR1305	910718	1,1	2,5	1,8	17	55	0,01	2,45	2,45	13,00
PR1401	900707	1,3	2,4	1,8	30	55	0,00	1,50	2,00	
PR1402	900717	1,2	2,7	1,9	23	55	0,00	1,25	2,10	5,30
PR1403	900725	2,1	6,0	4,0	30	55	0,01	2,45	2,50	6,15
PR1404	901110	14,9	11,9	13,4	20	55	0,00	0,45	0,50	2,09
PR1405	910718	1,2	3,0	2,1	16	55	0,00	3,00	3,30	11,00
PR1501	900714	1,3	2,0	1,6	39	55	0,03	2,30	3,00	13,00
PR1502	900725	1,2	4,1	2,7	30	55	0,02	2,30	2,50	12,11
PR1503	900826	1,9	2,9	2,4	30	55	0,01	0,50	1,10	7,00
PR1504	901109	9,5	10,4	9,9	30	55	0,00	1,20	1,50	4,07
PR1505	910718	0,7	2,0	1,3	30	55	0,03	2,35	4,30	30,00
PR1601	900714	1,3	6,3	3,8	34	110	0,02	3,40	4,00	3,50
PR1602	900725	0,9	4,8	2,8	30	55	0,02	4,15	5,00	
PR1603	901110	13,2	15,2	14,2	30	55	0,03	1,30	2,45	
PR1701	900725	0,8	1,6	1,2	30	55	0,05	3,45	7,10	
PR1702	901110	14,1	15,4	14,7	38	55	0,00	0,50	1,45	
PR1801	900725	1,6	3,6	2,6	60	55	0,14	12,00	18,00	30,00
PR1802	901110	12,2	14,1	13,2	33	55	0,03	1,00	6,40	10,40
PR1901	900826	2,2	3,1	2,6	35	55	0,03	3,00	5,00	15,00
PR1902	901110	16,6	8,9	12,8	20	55	0,02	0,30	1,20	7,45
PR2001	900724	1,2	2,1	1,6	30	55	0,01	1,10	2,00	8,00
PR2002	900825	0,9	1,2	1,0	33	55	0,01	1,10	2,50	1,50
PR2003	901109	17,4	8,9	13,2	30	55	0,01	0,40	1,09	3,10
PR2004	910728	2,1	4,2	3,1	30	55	0,01	1,45	3,10	3,00
PR2005	920310	16,4	23,2	19,8	97	55	0,00	0,45	0,55	0,00
PR2101	900724	1,3	4,8	3,1	30	55	0,03	2,10	8,00	4,00
PR2102	900825	1,0	1,6	1,3	42	55	0,07	7,14	14,30	16,40
PR2103	901111	10,4	14,3	12,3	30	55	0,01	0,40	1,40	1,30
PR2201	900724	1,3	4,2	2,8	30	55	0,00	0,56	1,30	10,00
PR2202	900825	1,2	1,7	1,4	31	55	0,01	1,40	1,49	1,49
PR2203	901111	21,7	17,3	19,5	30	55	0,00	0,30	0,45	0,45
PR2204	910728	2,0	3,2	2,6	30	55	0,01	2,01	3,00	4,30
PR2205	920218	12,4	15,4	13,9	40	55	0,00	0,30	0,45	1,53
PR2206	920310	14,6	20,4	17,5	40	55	0,00	0,40	0,56	10,30
PR2301	900723	1,5	4,2	2,9	30	55	0,01	2,30	3,30	8,00
PR2302	900826	2,3	4,0	3,1	30	55	0,01	1,10	2,40	7,30
PR2303	901108	28,1	10,1	19,1	30	55	0,01	0,25	0,39	3,30
PR2304	901211	15,4	9,7	12,5	28	55	0,01	1,00	2,00	7,20
PR2305	910728	1,3	3,1	2,2	30	55	0,01	2,40	2,45	12,00
PR2306	920218	10,5	12,4	11,5	40	55	0,02	1,00	1,10	9,00
PR2307	920310	15,2	14,3	14,8	40	55	0,01	2,56	3,01	10,20
PR2401	900723	2,3	4,5	3,4	30	55	0,01	2,40	3,09	3,20
PR2402	900826	1,0	2,1	1,6	35	55	0,01	2,10	2,21	2,00
PR2403	901108	19,1	10,4	14,7	30	55	0,01	1,00	1,40	5,10
PR2404	910802	1,5	3,2	2,4	25	55	0,01	3,00	4,30	12,00
PR2405	920310	15,3	16,5	15,9	108	55	0,01	1,35	2,02	10,41



Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
PR1305	6,00	1,50	25,62	0,51	0,99	0,52	5,28	7,29	5,76
PR1401	2,25	1,00	46,58	0,85	1,00	0,66	2,17	1,80	2,36
PR1402	2,45		45,40	0,83	1,05	0,53	2,42	0,00	2,64
PR1403	3,15	1,16	41,52	0,75	0,93	0,53	2,81	5,37	3,06
PR1404	1,00	1,00	49,48	0,90	1,02	0,74	0,85	0,00	0,92
PR1405	5,00	1,66	27,19	0,51	0,93	0,94	4,48	12,59	4,88
PR1501	9,15	1,33	19,63	0,36	0,62	0,11	8,81	18,22	9,61
PR1502	3,00	1,50	24,05	0,44	0,62	0,14	2,95	18,30	3,22
PR1503	2,00	1,33	37,23	0,68	0,86	0,21	1,89	6,85	2,07
PR1504	2,00	1,00	41,97	0,76	0,87	0,73	1,72	8,28	1,88
PR1505	8,00	1,16	14,32	0,27	0,65	0,08	7,78	18,74	8,48
PR1601	4,15	1,00	16,23	0,15	0,21	0,10	4,80	84,85	2,62
PR1602	6,00	1,00	4,79	0,09	0,11	1,04	5,29	48,89	5,77
PR1603	4,40	0,68	10,59	0,19	0,29	0,13	2,33	38,95	2,54
PR1701	8,00	1,38	7,51	0,14	0,25	0,09	5,86	38,24	6,40
PR1702	2,00	0,83	30,50	0,55	0,63	0,98	1,81	22,02	1,98
PR1801	21,00	0,50	3,66	0,07	0,13	0,06	15,38	46,84	16,78
PR1802	7,30	0,66	4,71	0,09	0,13	1,25	6,81	48,77	7,43
PR1901	7,00	1,00	15,73	0,29	0,48	0,10	6,21	26,09	6,78
PR1902	1,45	1,75	45,35	0,82	1,05	0,44	1,81	0,00	1,97
PR2001	2,30	3,00	33,00	0,60	0,81	0,23	1,81	12,77	1,98
PR2002	3,40	2,63	27,25	0,50	0,64	0,40	3,01	22,03	3,29
PR2003	1,40	2,00	42,29	0,77	0,94	0,38	1,07	6,75	1,17
PR2004	3,30	2,00	21,85	0,42	0,63	0,24	3,27	25,99	3,57
PR2005	1,10	3,67	32,60	0,62	0,64	1,38	1,07	20,70	1,16
PR2101	12,00	2,50	8,86	0,16	0,36	0,20	11,04	34,75	12,05
PR2102	18,00	2,00	5,40	0,10	0,26	0,07	17,31	35,15	18,88
PR2103	2,00	1,66	22,12	0,40	0,47	0,45	1,99	29,02	2,17
PR2201	3,00	1,33	40,39	0,73	0,82	1,26	2,75	8,78	3,00
PR2202	2,45	1,50	36,87	0,67	0,82	0,42	2,27	11,34	2,47
PR2203	0,50	2,00	51,68	0,94	0,99	1,68	0,76	0,77	0,83
PR2204	5,05	1,00	24,05	0,45	0,61	0,61	4,71	24,22	5,14
PR2205	2,35	2,16	35,97	0,69	0,80	2,63	2,37	15,24	2,58
PR2206	1,20		44,33	0,84	0,92	0,53	1,31	5,78	1,43
PR2301	4,30	1,50	33,78	0,61	0,86	0,26	3,84	8,92	4,19
PR2302	2,30	1,50	35,80	0,65	0,84	0,26	2,43	9,40	2,66
PR2303	0,50	1,75	47,68	0,87	1,01	0,33	0,74	0,28	0,80
PR2304	2,45	1,23	39,41	0,74	1,02	0,17	2,67	0,00	2,91
PR2305	5,00	0,58	21,89	0,48	0,20	0,17	4,92	7,75	5,37
PR2306	1,51	1,66	33,57	0,64	0,90	0,12	2,21	8,89	2,41
PR2307	3,31	1,03	40,79	0,76	0,94	0,30	3,19	6,27	3,48
PR2401	3,30	1,50	29,05	0,53	0,67	0,31	3,01	17,81	3,28
PR2402	2,30	1,50	33,82	0,61	0,73	0,28	2,43	13,70	2,65
PR2403	2,15	1,00	45,24	0,82	1,02	0,26	1,96	0,00	2,13
PR2404	4,25	1,50	38,08	0,76	1,25	0,27	4,45	0,00	4,86
PR2405	2,20	1,26	49,01	0,90	0,98	0,26	2,31	2,98	2,52

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
PR1305	948	18,29	7,53	9,36	11,19	13,01	0,45	0,66
PR1401	256	14,43	3,43	3,88	4,33	4,78	0,75	0,86
PR1402	229	14,43	3,43	3,12	2,80	2,49	0,75	0,89
PR1403	255	15,99	5,05	6,39	7,74	9,08	0,63	0,77
PR1404	109	15,99	1,52	1,35	1,18	1,01	0,89	0,95
PR1405	4255	11,06	7,01	10,16	13,31	16,46	0,49	0,63
PR1501	127	56,60	12,77	19,61	24,58	29,21	0,07	0,29
PR1502	75	42,03	9,88	15,18	19,85	24,44	0,28	0,45
PR1503	82	32,72	6,52	8,43	10,16	11,87	0,53	0,69
PR1504	193	10,52	4,22	6,29	8,35	10,42	0,69	0,77
PR1505	92	71,72	12,72	20,29	25,80	30,73	0,07	0,26
PR1601	118	36,34	25,13	47,23	68,64	89,90	0,09	0,14
PR1602	2545	8,20	12,86	25,08	37,30	49,53	0,06	0,09
PR1603	61	31,26	11,96	22,03	31,82	41,56	0,13	0,20
PR1701	67	50,45	12,97	23,61	33,47	43,11	0,06	0,14
PR1702	252	7,08	6,91	12,42	17,92	23,43	0,50	0,55
PR1801	68	67,82	13,75	26,94	39,29	51,27	0,00	0,02
PR1802	66212	9,48	12,99	25,18	37,38	49,57	0,06	0,08
PR1901	84	52,84	12,33	20,37	27,22	33,81	0,10	0,26
PR1902	134	52,84	2,93	2,20	1,46	0,73	0,79	0,92
PR2001	79	27,36	7,18	10,51	13,71	16,90	0,48	0,62
PR2002	147	15,67	8,38	13,90	19,41	24,92	0,39	0,49
PR2003	82	18,38	4,33	6,02	7,71	9,39	0,69	0,78
PR2004	95	22,91	9,85	16,46	22,96	29,45	0,28	0,40
PR2005	190	4,88	5,99	11,16	16,34	21,52	0,56	0,59
PR2101	264	32,23	13,43	22,91	31,64	40,33	0,02	0,17
PR2102	107	77,97	13,75	26,31	36,50	45,80	0,00	0,04
PR2103	98	12,12	8,94	16,20	23,45	30,70	0,35	0,41
PR2201	2020	7,98	4,81	7,01	9,20	11,40	0,65	0,75
PR2202	134	16,70	5,99	8,83	11,67	14,50	0,56	0,68
PR2203	220	6,11	1,03	1,22	1,41	1,60	0,93	0,96
PR2204	742	13,04	9,28	15,34	21,39	27,45	0,33	0,44
PR2205	34987	4,70	5,37	9,18	12,99	16,80	0,61	0,67
PR2206	111	14,05	3,72	5,17	6,62	8,06	0,73	0,81
PR2301	148	27,89	7,83	10,21	12,44	14,67	0,43	0,63
PR2302	100	26,58	6,81	9,27	11,62	13,97	0,50	0,66
PR2303	72	30,56	3,07	3,16	3,23	3,30	0,78	0,89
PR2304	93	30,56	6,49	6,12	5,17	4,18	0,53	0,78
PR2305	128	42,09	9,51	12,16	14,14	16,09	0,31	0,56
PR2306	70	54,46	8,76	12,09	14,49	16,75	0,36	0,56
PR2307	144	25,80	6,62	8,27	9,83	11,40	0,52	0,70
PR2401	119	20,71	8,15	12,65	17,10	21,55	0,41	0,54
PR2402	100	23,00	7,28	10,77	14,20	17,62	0,47	0,61
PR2403	97	23,00	4,68	4,41	4,03	3,64	0,66	0,84
PR2404	224	23,00	6,49	5,28	3,87	2,46	0,53	0,81
PR2405	104	31,00	5,68	6,54	7,29	8,03	0,59	0,76

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-59

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
PR1305	0,73	0,76	65,99	103,72	1690,66	1,70	373	-30,24
PR1401	0,90	0,91	62,81	253,38	2925,83	0,52	660	-28,68
PR1402	0,93	0,95	56,21	169,44	2552,02	0,32	584	-28,92
PR1403	0,81	0,83	43,11	154,99	1789,70	0,44	409	-4,98
PR1404	0,97	0,98	32,14	91,81	1590,19	0,69	910	-38,69
PR1405	0,68	0,70	42,65	66,27	1159,39	3,17	460	-30,56
PR1501	0,40	0,47	90,65	255,38	1779,11	0,08	1271	-64,37
PR1502	0,52	0,56	62,53	166,04	1503,73	1,39	690	-22,33
PR1503	0,75	0,78	72,46	297,84	2697,37	1,21	553	-20,36
PR1504	0,80	0,81	120,03	556,32	5038,30	-6,08	1164	-31,09
PR1505	0,37	0,44	91,12	140,87	1305,03	0,34	437	-10,36
PR1601	0,17	0,18	0,50	0,91	8,06	-0,01	245	-6,45
PR1602	0,10	0,10	0,83	0,39	3,97	-0,03	177	-4,31
PR1603	0,23	0,24	0,81	0,85	8,59	-0,02	128	-4,73
PR1701	0,19	0,22	0,49	0,39	3,68	-0,04	177	-2,04
PR1702	0,57	0,57	0,70	2,92	21,48	0,00	160	-1,00
PR1801	0,05	0,07	5,10	3,08	18,67	-0,28	154	-0,79
PR1802	0,09	0,10	2,63	1,12	12,38	-0,07	175	-4,74
PR1901	0,34	0,39	70,95	129,52	1116,14	0,30	825	-11,92
PR1902	0,96	0,99	92,03	276,71	4172,99	2,53	1313	-38,27
PR2001	0,67	0,69	5,19	24,12	171,20	-0,34	236	-10,92
PR2002	0,53	0,55	4,06	17,16	110,68	-0,13	148	-4,04
PR2003	0,81	0,83	6,06	36,14	256,46	0,02	201	-0,42
PR2004	0,44	0,46	2,42	6,77	52,96	-0,18	119	-2,27
PR2005	0,60	0,61	1,26	19,93	41,00	-0,04		
PR2101	0,23	0,27	3,28	5,07	29,01	-0,18	195	-2,80
PR2102	0,12	0,17	2,60	3,45	14,07	0,00	144	1,54
PR2103	0,43	0,44	1,27	4,91	28,05	-0,06	219	-4,05
PR2201	0,78	0,79	3,76	18,01	152,07	-0,28	154	-4,84
PR2202	0,72	0,74	2,70	12,20	99,68	-0,08	108	-1,43
PR2203	0,97	0,97	1,78	10,91	92,09	-0,16	166	0,48
PR2204	0,48	0,50	3,40	10,00	81,75	-0,05	87	-0,61
PR2205	0,69	0,69	1,64	9,85	59,17	-0,02		
PR2206	0,84	0,85	2,93	21,38	130,02	-0,05		
PR2301	0,70	0,73	54,89	185,66	1853,83	0,15	631	-25,18
PR2302	0,72	0,75	66,59	227,95	2384,02	-0,78	592	-12,76
PR2303	0,92	0,94	50,12	228,49	2389,69	3,72	1054	-54,27
PR2304	0,87	0,92	45,28	186,48	1784,25	1,03	819	-21,38
PR2305	0,66	0,71	66,44	158,16	1454,21	1,39	519	-6,81
PR2306	0,65	0,70	54,16	252,85	1818,17	1,39		
PR2307	0,76	0,79	47,22	263,77	1925,75	1,12		
PR2401	0,59	0,61	56,99	149,65	1655,53	1,11	514	-13,12
PR2402	0,66	0,68	79,96	285,15	2703,91	0,40	596	-10,83
PR2403	0,90	0,93	52,27	213,77	2364,89	0,59	922	-14,41
PR2404	0,91	0,96	85,13	263,28	3242,31	1,77	501	-8,33
PR2405	0,82	0,85	69,51	1108,72	3407,09	0,38		

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-60

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
PR1305				14,26	-5,27	0,03
PR1401				9,19	-3,85	0,02
PR1402				13,92	-7,61	0,00
PR1403				4,67	-1,06	2,93
PR1404				6,74	-4,55	0,00
PR1405				6,50	-1,74	1,77
PR1501	6,23	475,96	22,10	5,70	-0,77	22,17
PR1502	16,10	147,62	21,02	4,66	-0,52	18,30
PR1503	2,69	129,76	7,02	4,76	-0,87	6,01
PR1504	2,95	70,50	5,30	3,66	-0,57	5,59
PR1505	6,76	471,52	22,48	6,20	-0,94	20,36
PR1601	83,83	109,57	87,48	4,80	-0,10	86,13
PR1602	47,78	19,30	48,42	3,98	-0,03	48,19
PR1603	37,57	66,52	39,79	4,13	-0,14	38,66
PR1701	36,51	136,54	41,07	4,37	-0,20	40,22
PR1702	18,96	46,26	20,50	3,63	-0,18	20,25
PR1801	44,67	175,67	50,52	4,26	-0,10	50,67
PR1802	47,17	29,95	48,17	4,01	-0,04	47,97
PR1901	20,94	253,13	29,38	4,85	-0,44	28,53
PR1902				12,05	-7,53	0,00
PR2001	8,27	115,23	12,11	4,49	-0,63	10,36
PR2002	16,93	99,03	20,23	4,05	-0,32	19,49
PR2003	2,62	75,04	5,12	4,36	-0,88	3,89
PR2004	17,15	148,68	22,11	4,51	-0,44	20,52
PR2005	19,59	20,88	20,28	3,26	-0,07	20,78
PR2101	20,98	378,52	33,59	5,07	-0,46	33,39
PR2102	25,75	561,22	44,46	5,28	-0,44	44,76
PR2103	25,22	61,62	27,28	3,93	-0,19	26,55
PR2201	3,85	68,44	6,13	3,07	-0,32	7,36
PR2202	5,54	105,57	9,06	4,06	-0,55	9,01
PR2203				0,26	-0,74	0,10
PR2204	16,10	123,97	20,23	4,03	-0,30	20,14
PR2205	11,53	45,88	13,06	3,46	-0,27	12,66
PR2206	0,41	73,90	2,87	3,03	-0,49	3,87
PR2301				5,33	-1,01	6,66
PR2302	2,31	151,07	7,34	4,76	-0,82	7,24
PR2303				8,48	-4,30	0,00
PR2304				16,43	-7,27	0,00
PR2305				7,11	-1,66	4,28
PR2306	4,20	172,72	9,96	5,84	-1,15	6,95
PR2307				5,28	-1,19	3,39
PR2401	11,08	136,39	15,62	4,36	-0,48	15,12
PR2402	7,85	128,22	12,13	4,22	-0,51	12,14
PR2403				13,43	-6,59	0,00
PR2404				26,30	-11,95	0,00
PR2405				3,51	-0,90	1,57

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-61

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
PR2501	900825	1,0	1,6	1,3	35	55	0,02	3,55	5,00	
PR2502	901108	6,8	5,4	6,1	30	55	0,02	0,59	1,10	
PR2601	900825	1,8	1,9	1,8	27	120	0,02	5,00		
PR2602	901108	17,1	15,2	16,2	60	55	0,22			
PR2603	910727	1,0	2,3	1,6	60	55		5,00		
PR2701	900825	1,4	2,2	1,8	32	55	0,02	3,35	5,15	6,00
PR2702	901108	14,1	14,1	14,1	30	55	0,01	1,30	2,20	
PR2801	900825	2,8	3,8	3,3	27	55	0,02	3,42	4,49	14,00
PR2802	901108	18,4	26,9	22,6	30	55	0,02	1,30	2,13	7,00
PR2803	910802	0,6	1,1	0,8	30	55	0,03	2,10	2,30	7,00
PR2901	900825	1,6	1,9	1,8	30	55	0,03	1,50	2,00	2,30
PR2902	901108	11,1	10,1	10,6	30	55	0,01	0,45	1,23	
PR3001	900825	1,4	3,6	2,5	60	55	0,10	10,30	19,30	19,20
PR3002	901108	8,1	15,1	11,6	40	55	0,03	3,00	10,00	
PR3003	910802	0,9	2,1	1,5	30	110	0,01	3,10	8,30	18,00
PR3101	910718	0,6	1,4	1,0	30	55	0,03	1,40	2,00	10,32
PR32	900727	3,0	6,1	4,5	60	55	0,05		10,30	
PR33	900727	3,4	6,5	4,9	60	55	0,07		12,00	
PR34	900727	2,1	4,3	3,2	67	55	0,05		8,40	
PR35	900727	1,2	3,1	2,2	60	55	0,04		4,50	
PR36	910727	1,2	2,2	1,7	60	55	0,03	4,00	8,10	
PR37	910727	1,2	2,2	1,7	60	55	0,09	6,00	10,21	
PR38	910727	2,3	5,2	3,8	60	55	0,07	5,50	10,34	
PR39	910727	4,6	4,0	4,3	64	55	0,06	13,00	16,00	
PR40	910727	2,1	3,1	2,6	60	55	0,03	2,00	2,10	
PR41	910517	1,2	3,8	2,5	50	55	0,01	2,00	3,00	
PR42	900728	1,2	5,4	3,3	60	55	0,09	7,00	11,00	
PR43	920204	12,3	12,5	12,4	63	55	0,07	6,00	8,00	
PR44	910727	4,6	4,0	4,3	63	55				
PR45	920204	10,3	17,0	13,6	40	55	0,03	4,29		
PR50	910305	1,7	13,1	7,4	23	55	0,01	1,07	1,31	
PR51	910517	2,2	3,7	2,9	31	55	0,01	1,36		
PR60	900724	2,0	2,4	2,2	30	55	0,01	2,00	3,00	7,00
PR61	900728	1,3	2,8	2,0	30	55	0,01	1,20	2,00	8,00
PR62	900724	1,4	4,7	3,0	30	55	0,02	2,10	8,00	4,00
PR63	900728	1,7	3,4	2,5	30	55	0,02	3,32	5,00	2,32
PR64	900728	1,2	2,5	1,9	30	55	0,01	3,00	5,00	
PR71	900731	1,2	2,1	1,7	30	55	0,01	2,00	3,00	3,00
PR72	900731	1,8	2,5	2,1	36	55	0,01	2,00	2,30	2,00
PR73	920310	1,3	2,6	1,9	40	55	0,01	1,00	1,50	10,00
PR74	920310	1,3	2,6	1,9	40	55	0,01	1,35	2,02	10,41
PR75	900801	1,0	2,1	1,6	110	55	0,00	2,00	5,00	12,00
PR76	900801	1,3	2,7	2,0	30	55	0,01	1,30	3,00	7,05
PR77	900707	1,0	3,5	2,2	30	55	0,00	1,50	2,00	0,00
PR78	920204	6,8	12,4	9,6	60	55	0,00	1,15	1,30	57,00
PR95	900731	1,2	3,2	2,2	141	55	0,00	1,20	2,00	5,50

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
PR2501	12,00	1,00	13,28	0,24	0,42	0,32	10,86	31,82	11,85
PR2502	1,25	1,83	32,37	0,59	0,76	0,15	0,10	12,98	0,11
PR2601	5,30	1,05	7,10	0,06	0,08	0,40	10,36	110,02	5,18
PR2602	8,00	0,50	3,43	0,06	0,11	0,03	3,41	47,08	3,72
PR2603	5,30		0,00	0,00	0,00			55,00	
PR2701	5,30	1,33	15,92	0,29	0,39	0,24	5,16	31,92	5,62
PR2702	3,15	1,66	20,27	0,37	0,45	0,47	2,60	30,90	2,84
PR2801	9,16	1,18	20,51	0,37	0,75	0,13	8,43	5,93	9,20
PR2802	3,45	0,83	44,56	0,81	0,99	0,42	3,18	0,00	3,47
PR2803	5,02	0,71	18,37	0,34	0,68	0,09	5,99	14,05	6,53
PR2901	2,30	1,81	22,78	0,41	0,65	0,10	0,10	21,62	0,11
PR2902	1,50	1,33	30,27	0,55	0,64	0,42	1,50	19,95	1,64
PR3001	30,30	0,93	4,64	0,08	0,24	0,05	25,38	38,06	27,69
PR3002	11,30	1,00	26,60	0,48	0,89	0,11	10,39	1,26	11,34
PR3003	14,00	0,60	18,51	0,17	0,42	0,41	25,84	69,98	14,10
PR3101	8,00	1,00	13,96	0,26	0,59	0,12	7,86	27,11	8,57
PR32	17,43	1,00	7,72	0,15	0,31	0,19	15,66	43,21	17,08
PR33	19,50	1,00	4,33	0,08	0,14	0,34	18,06	48,10	19,70
PR34	27,00	1,20	6,20	0,11	0,21	0,34	24,75	43,92	27,00
PR35	20,30	1,46	13,76	0,26	0,54	0,09	18,63	27,06	20,32
PR36	9,00	1,56	12,39	0,23	0,33	0,17	7,26	39,18	7,92
PR37	13,00	1,55	4,54	0,08	0,14	0,11	11,40	48,33	12,44
PR38	14,30	1,33	6,36	0,12	0,17	0,12	12,49	44,91	13,62
PR39	20,00		3,57	0,08	0,15	0,23	18,28	45,73	19,94
PR40	2,30		21,42	0,40	0,54	0,09	1,88	27,82	2,05
PR41	3,30	1,31	12,19	0,24	0,26	0,47	2,60	40,17	2,84
PR42	14,00	1,33	4,16	0,08	0,14	0,13	12,71	48,49	13,87
PR43	12,00		6,52	0,12	0,18	0,11	10,67	45,03	11,64
PR44	0,00		0,00	0,00	0,00			55,00	
PR45	7,20	0,75	4,07	0,07	0,08	0,70	6,71	49,65	7,31
PR50	3,00	1,09	14,37	0,27	0,35	0,61	2,79	36,93	3,04
PR51	2,22	0,71	23,82	0,44	0,56	0,28	2,06	25,59	2,25
PR60	3,40	2,35	37,30	0,73	1,08	0,28	3,07	6,06	3,35
PR61	2,30	2,16	35,47	0,69	0,85	0,55	2,32	11,82	2,53
PR62	13,00	2,50	12,09	0,24	0,57	0,43	11,70	31,05	12,77
PR63	7,00	2,66	11,42	0,23	0,39	0,21	7,09	34,03	7,73
PR64	6,00	2,08	26,33	0,48	0,67	0,49	5,44	19,02	5,93
PR71	4,00	2,00	31,13	0,57	0,70	0,65	3,33	17,33	3,63
PR72	4,00	0,50	32,92	0,60	0,77	0,22	2,12	14,23	2,31
PR73	2,20	1,00	36,10	0,67	0,87	0,26	2,31	12,20	2,52
PR74	2,20	1,00	38,05	0,71	0,89	0,28	2,32	10,25	2,53
PR75	5,30	2,00	40,54	0,75	0,82	0,86	4,82	11,70	5,26
PR76	3,30	1,00	39,17	0,71	0,86	0,60	3,26	7,43	3,55
PR77	2,25	1,00	39,08	0,71	0,82	0,64	2,16	10,32	2,35
PR78	7,00	1,63	22,44	0,41	0,86				
PR95	2,34	2,00	37,88	0,69	0,66	0,92	2,38	15,74	2,59

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-63

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
PR2501	1106	25,10	13,17	21,49	29,45	37,40	0,04	0,22
PR2502	56	39,47	7,25	10,93	14,23	17,48	0,47	0,60
PR2601	188	10,73	28,70	56,21	83,71	111,21	0,04	0,06
PR2602	56	106,24	13,52	26,47	39,01	51,30	0,02	0,04
PR2603			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PR2701	120	23,66	11,41	19,54	27,53	35,50	0,17	0,29
PR2702	123	12,07	9,52	17,24	24,97	32,69	0,31	0,37
PR2801	174	59,41	12,08	15,84	17,63	19,15	0,12	0,42
PR2802	237	59,41	4,82	4,76	4,68	4,60	0,65	0,83
PR2803	86	73,08	11,91	18,11	22,37	26,09	0,13	0,34
PR2901	55	50,62	9,57	15,90	21,52	26,97	0,30	0,42
PR2902	90	13,84	7,02	12,01	17,00	21,99	0,49	0,56
PR3001	109	100,83	13,75	27,45	39,50	50,19	0,00	0,00
PR3002	186	88,05	13,02	17,54	18,67	19,15	0,05	0,36
PR3003	12696	24,01	27,29	45,70	63,20	80,69	0,01	0,17
PR3101	108	46,07	12,69	20,82	27,80	34,61	0,08	0,24
PR32	330	34,78	13,75	25,83	36,71	47,52	0,00	0,06
PR33	5678	27,53	13,75	26,59	38,62	50,65	0,00	0,03
PR34	>100000	36,39	13,75	27,24	38,38	49,36	0,00	0,01
PR35	208	70,74	13,75	25,84	34,09	41,22	0,00	0,06
PR36	100	29,68	12,88	23,07	32,89	42,69	0,06	0,16
PR37	76	35,28	13,70	26,34	38,52	50,62	0,00	0,04
PR38	97	39,38	13,72	25,87	37,25	48,50	0,00	0,06
PR39	890	33,23	13,75	26,49	37,98	49,42	0,00	0,04
PR40	61	52,51	11,18	19,23	26,46	33,49	0,19	0,30
PR41	96	10,53	11,15	21,19	31,23	41,27	0,19	0,23
PR42	86	34,29	13,73	26,45	38,66	50,79	0,00	0,04
PR43	80	40,25	13,63	25,70	37,12	48,41	0,01	0,07
PR44			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PR45	917	10,73	13,15	25,56	37,97	50,39	0,04	0,07
PR50	153	9,39	10,50	19,73	28,96	38,19	0,24	0,28
PR51	81	18,93	8,94	15,37	21,77	28,17	0,35	0,44
PR60	130	27,48	6,67	8,28	9,80	11,31	0,51	0,70
PR61	187	13,17	5,70	8,65	11,61	14,56	0,59	0,69
PR62	5636	22,93	13,30	21,35	29,11	36,88	0,03	0,22
PR63	139	27,58	12,38	21,21	29,73	38,24	0,10	0,23
PR64	690	16,56	9,23	14,00	18,75	23,51	0,33	0,49
PR71	412	11,96	7,26	11,59	15,92	20,25	0,47	0,58
PR72	83	27,51	7,65	11,36	14,93	18,49	0,44	0,59
PR73	94	25,22	7,15	10,30	13,35	16,40	0,48	0,63
PR74	100	24,61	6,70	9,34	11,90	14,46	0,51	0,66
PR75	3979	12,14	7,19	10,12	13,04	15,97	0,48	0,63
PR76	404	14,38	5,59	7,44	9,30	11,16	0,59	0,73
PR77	212	11,84	5,11	7,69	10,27	12,85	0,63	0,72
PR78								
PR95	442	8,59	5,99	9,92	13,86	17,79	0,56	0,64

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-64

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
PR2501	0,29	0,32	4,87	8,21	64,72	-0,17	131	-3,92
PR2502	0,66	0,68	3,46	12,19	112,10	-0,07	139	-0,04
PR2601	0,07	0,07	1,77	1,42	12,58	0,09	234	-6,48
PR2602	0,05	0,07	0,73	0,54	2,51	-0,03	137	0,26
PR2603	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PR2701	0,33	0,35	1,44	2,67	22,91	-0,06	263	-6,49
PR2702	0,39	0,41	3,12	7,01	63,27	0,06	163	2,36
PR2801	0,57	0,65	67,84	105,99	1391,10	1,92	418	-9,74
PR2802	0,89	0,92	49,48	183,25	2204,81	0,18	768	-16,85
PR2803	0,46	0,53	94,35	163,12	1733,50	2,63	344	-9,87
PR2901	0,48	0,51	8,41	21,65	191,48	-0,48	183	-5,80
PR2902	0,59	0,60	2,69	9,22	81,57	-0,22	173	-0,16
PR3001	0,04	0,09	21,51	16,37	99,82	-0,20	294	-0,64
PR3002	0,55	0,65	38,35	111,47	1019,93	-0,65	320	-3,21
PR3003	0,23	0,27	148,36	299,54	2746,57	2,37	233	0,57
PR3101	0,33	0,37	48,34	41,14	675,01	1,80	498	-13,64
PR32	0,11	0,14	0,26	0,45	2,00	0,00		
PR33	0,06	0,08	0,43	0,41	1,84	0,00		
PR34	0,07	0,10	0,27	0,38	1,69	0,00		
PR35	0,17	0,25	0,69	1,94	9,53	-0,02		
PR36	0,20	0,22	0,30	0,77	3,77	0,00		
PR37	0,07	0,08	0,15	0,14	0,66	0,00		
PR38	0,10	0,12	0,17	0,22	1,10	0,01		
PR39	0,08	0,10	0,03	0,02	0,11	-0,01		
PR40	0,36	0,39	0,33	1,54	6,98	-0,01		
PR41	0,24	0,25	1,25	2,58	15,26	0,00	135	-3,26
PR42	0,06	0,08	0,17	0,16	0,70	-0,01	167	-2,42
PR43	0,10	0,12	0,39	0,52	2,54	0,00		
PR44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PR45	0,08	0,08	0,70	0,42	2,86	0,00		
PR50	0,30	0,31	0,30	0,39	4,30	0,00	103	-5,68
PR51	0,47	0,49	3,66	10,21	87,15	-0,12	175	-7,94
PR60	0,76	0,79	8,80	42,46	328,21	-0,44	216	-8,63
PR61	0,72	0,74	7,19	38,52	255,00	-0,41	236	-10,92
PR62	0,29	0,33	6,99	10,99	84,58	-0,28	212	-1,71
PR63	0,28	0,30	3,76	5,61	42,96	0,12	178	-7,68
PR64	0,55	0,57	3,03	9,58	79,88	-0,25	223	-10,06
PR71	0,61	0,63	0,47	1,84	14,65	-0,02	136	-1,38
PR72	0,64	0,66	25,75	118,46	847,85	0,36		
PR73	0,68	0,70	55,16	301,27	1991,47	0,74		
PR74	0,71	0,74	56,15	301,98	2136,59	0,82		
PR75	0,68	0,71	68,88	1117,88	2792,01	0,36		
PR76	0,77	0,80	82,23	320,40	3220,57	-0,06	659	-19,89
PR77	0,75	0,77	62,81	255,10	2454,69	0,52	611	-21,75
PR78			45,37	200,14	1018,05	0,84		
PR95	0,66	0,68	1,27	17,00	48,26	-0,03		

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-65

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
PR2501	19,73	328,10	30,67	4,79	-0,40	30,97
PR2502	13,41	70,63	15,76	4,21	-0,49	12,79
PR2601	107,57	45,87	109,09	4,79	-0,03	108,53
PR2602	48,66	53,69	50,45	4,11	-0,05	50,77
PR2603						
PR2701	25,26	158,24	30,53	4,40	-0,29	30,02
PR2702	27,61	55,58	29,46	3,88	-0,15	28,65
PR2801				7,58	-1,58	9,12
PR2802				11,51	-5,17	0,00
PR2803	4,79	389,62	17,77	6,04	-0,96	15,94
PR2901	21,35	85,41	24,20	4,40	-0,41	20,42
PR2902	16,17	64,56	18,32	3,90	-0,31	17,17
PR3001	29,81	683,19	52,58	5,14	-0,35	52,05
PR3002				9,35	-2,13	8,24
PR3003	28,24	965,25	60,41	6,05	-0,57	60,60
PR3101	10,68	420,10	24,68	5,74	-0,76	23,21
PR32	38,74	203,84	45,54	4,25	-0,12	45,74
PR33	45,69	100,17	49,03	4,07	-0,05	49,04
PR34	38,50	266,48	47,39	4,27	-0,12	46,85
PR35	10,45	866,98	39,35	5,98	-0,68	39,43
PR36	34,97	139,87	39,63	4,19	-0,15	40,18
PR37	45,66	110,77	49,35	4,18	-0,08	49,65
PR38	40,80	175,27	46,64	4,28	-0,13	47,00
PR39	40,20	223,94	47,66	4,33	-0,14	47,76
PR40	26,72	108,07	30,33	4,28	-0,25	30,34
PR41	39,26	23,18	40,04	3,80	-0,03	40,19
PR42	45,71	115,80	49,57	4,17	-0,08	49,76
PR43	42,22	138,83	46,85	4,20	-0,10	47,28
PR44						
PR45	49,30	11,77	49,69	3,92	0,00	49,86
PR50	33,07	51,26	34,77	3,95	-0,12	33,96
PR51	21,79	79,95	24,46	4,04	-0,26	23,42
PR60				6,18	-1,67	1,65
PR61	3,07	109,06	6,70	3,81	-0,51	8,03
PR62	7,96	501,82	24,69	5,71	-0,74	24,64
PR63	21,74	267,64	30,66	4,78	-0,40	30,05
PR64	9,14	192,18	15,55	4,41	-0,48	16,08
PR71	10,90	101,30	14,27	3,95	-0,38	14,23
PR72	9,65	120,94	13,68	4,32	-0,52	13,02
PR73	5,61	142,15	10,35	4,47	-0,64	10,10
PR74	3,36	144,94	8,19	4,40	-0,66	8,48
PR75	8,44	112,90	12,21	3,33	-0,23	12,61
PR76				4,19	-0,75	5,14
PR77	4,09	88,68	7,05	3,86	-0,55	7,34
PR78	9,76	500,87	26,46	7,23	-1,21	22,40
PR95	16,34	-10,02	16,01	1,84	0,21	13,04

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-66

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
PR96	900731	1,3	2,3	1,8	40	55	0,00	1,00	1,30	0,00
PR97	900731	1,5	2,3	1,9	40	55	0,00	2,00	2,30	10,30
PR98	900731	2,1	4,3	3,2	40	55	0,00	1,00	3,00	5,60
PR99	900731	2,1	4,3	3,2	30	55	0,02	1,23	2,00	
PU0101	900608	5,8	6,3	6,0	60	55	0,04	4,30	6,31	
PU0102	900726	1,6	1,4	1,5	60	55		25,00		
PU0103	900819	1,0	2,0	1,5	60	55		30,00		
PU0104	901209	13,9	6,6	10,2	60	55	0,02	1,10	1,20	
PU0201	900608	5,3	4,0	4,7	60	55				
PU0202	900726	0,8	1,9	1,4	60	55		4,14		
PU0203	900819	1,3	2,3	1,8	75	55		45,00		
PU0204	901209	13,2	5,0	9,1	60	120	0,00	1,00	1,30	
PU0301	900727	1,0	1,9	1,4	60	180	0,08	3,00		
PU0302	900818	1,3	2,5	1,9	60	55				
PU0303	901209	3,0	3,5	3,3	30	55	0,01	1,10	2,20	
PU0401	900727	2,0	1,1	1,5	60	180	0,01	3,30		
PU0402	900818	2,0	0,0	1,0	60	55				
PU0403	901209	7,2	15,3	11,3	30	55	0,00	1,00	1,30	
PU0501	900727	0,4	0,6	0,5	34	180	0,00	1,20		
PU0502	900818	0,4	0,0	0,2	34	62	0,00			
PU0503	901209	5,9	3,6	4,7	30	55	0,02	1,00	1,30	
PU0601	900817	2,0	2,0	2,0	30	55				
PU0602	901209	12,3	13,7	13,0	30	55	0,02	1,30	2,40	
PU0701	900817	3,0	2,0	2,5	30	55				
PU0702	901209	10,4	1,9	6,1	30	55	0,04	6,10	8,40	
PU10	910823	1,3	2,3	1,8	30	55				
PU11	910823	1,0	3,1	2,1	30	55				
PU12	910823	1,2	3,1	2,2	30	55				
PU13	910824	3,0	4,2	3,6	30	55				
PU14	910814	2,5	6,3	4,4	30	55				
PU15	910824	2,3	4,9	3,6	30	55				
PU16	910814	2,1	5,0	3,6	30	55				
PU17	900825	2,1	4,3	3,2	30	55				
PU18	900825	1,0	2,1	1,6	30	55				
PU19	900825	1,0	2,0	1,5	30	55				
PU20	910822	1,0	1,4	1,2	30	55				
PU21	910822	2,4	1,3	1,8	30	55				
PU22	910822	1,3	3,7	2,5	30	55				
PU23	910822	3,7	5,7	4,7	30	55				
PU24	910822	3,2	2,7	2,9	30	55				
PU25	910824	2,3	4,9	3,6	30	55				
PU26	910814	2,7	3,7	3,2	30	55				
PU27	900823	2,3	4,0	3,1	30	55				
PU28	900825	2,0	3,0	2,5	30	55				
PU29	900823	1,4	3,0	2,2	30	55				
RE01	900730	1,0	1,0	1,0	30	55	0,04	3,00	3,44	3,05

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-67

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
PR96	2,00	3,66	35,51	0,70	0,79	2,05	1,86	15,24	2,03
PR97	4,00	1,93	36,09	0,68	0,77	1,84	3,63	13,71	3,96
PR98	4,30	2,16	34,04	0,65	0,79	2,08	4,09	15,47	4,46
PR99	2,30	1,93	32,69	0,59	0,83	0,12	1,90	5,53	2,07
PU0101	7,00	0,53	5,37	0,10	0,11	0,38	6,33	48,65	6,91
PU0102			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0103			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0104	1,30	0,75	14,45	0,26	0,28	10,75	1,38	39,99	6,91
PU0201			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0202			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0203			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0204	2,30	1,50	10,48	0,09	0,09			55,00	
PU0301	5,30	1,03	3,76	0,02	0,03	0,05	1,09	174,14	0,36
PU0302			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0303	3,15		9,12	0,17	0,19	2,89	2,98	44,63	3,25
PU0401	5,00	0,80	6,24	0,03	0,04	1,88	14,96	173,10	4,99
PU0402			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0403	2,00		14,69	0,27	0,24				
PU0501	2,45	0,50	19,13	0,11	0,16	0,88	6,54	159,18	2,18
PU0502			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0503	2,00		17,24	0,31	0,41	0,18	2,02	31,79	2,20
PU0601			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0602	4,00		6,60	0,12	0,14	0,59	3,73	46,83	4,07
PU0701			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU0702	10,00		4,33	0,08	0,13	0,35	9,17	47,44	10,01
PU10			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU11			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU12			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU13			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU14			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU15			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU16			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU17			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU18			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU19			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU20			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU21			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU22			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU23			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU24			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU25			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU26			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU27			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU28			0,00	0,00	0,00			55,00	
PU29			0,00	0,00	0,00			55,00	
RE01	4,10	1,00	20,74	0,38	0,63	0,07	3,89	8,36	4,25

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-68

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
PR96	2529	4,74	5,24	9,05	12,86	16,67	0,62	0,67
PR97	61610	7,06	6,26	9,68	13,11	16,54	0,55	0,65
PR98	>100000	7,12	6,75	10,61	14,48	18,35	0,51	0,61
PR99	69	59,24	8,21	10,77	12,34	13,76	0,40	0,61
PU0101	138	13,60	13,11	25,28	37,44	49,61	0,05	0,08
PU0102			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0104	138	13,60	13,11	25,28	37,44	49,61	0,05	0,08
PU0201			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0202			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0203			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0204								
PU0301	180	26,71	44,59	88,65	132,44	176,11	0,01	0,02
PU0302			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0303	>100000	4,34	11,70	22,86	34,01	45,17	0,15	0,17
PU0401	80041	5,72	43,87	87,14	130,42	173,69	0,03	0,03
PU0402			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0403								
PU0501	301	5,09	40,78	80,57	120,37	160,16	0,09	0,10
PU0502			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0503	66	25,90	10,55	18,68	26,64	34,58	0,23	0,32
PU0601			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0602	138	8,89	12,43	24,13	35,84	47,55	0,10	0,12
PU0701			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU0702	310	17,82	13,37	25,28	37,14	48,99	0,03	0,08
PU10			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU11			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU12			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU13			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU14			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU15			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU16			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU17			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU18			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU19			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU20			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU21			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU22			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU23			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU24			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU25			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU26			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU27			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU28			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
PU29			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
RE01	70	99,79	11,17	16,77	20,16	22,73	0,19	0,39

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-69

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
PR96	0,69	0,70	2,12	13,15	75,34	-0,21		
PR97	0,68	0,70	3,45	24,42	124,41	-0,15		
PR98	0,65	0,67	1,80	10,31	61,17	-0,06		
PR99	0,70	0,75	2,17	8,51	70,97	-0,16		
PU0101	0,09	0,10	0,52	0,48	2,78	-0,04	1159	-2,31
PU0102	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0104	0,09	0,10	5,49	13,68	79,30	-0,82	65	-0,93
PU0201	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0202	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0203	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0204			0,36	0,68	3,73	0,00	37	0,08
PU0301	0,02	0,02	4,44	3,91	16,68	-0,05	187	-1,63
PU0302	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0303	0,18	0,18	0,42	0,45	3,83	0,01	87	-0,46
PU0401	0,03	0,04	0,58	0,68	3,64	0,00	158	-3,70
PU0402	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0403			0,23	0,31	3,32	0,00	58	0,03
PU0501	0,11	0,11	1,99	4,23	38,00	-0,02	185	-4,61
PU0502	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0503	0,35	0,37	0,10	0,17	1,78	0,01	59	-0,24
PU0601	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0602	0,13	0,14	0,32	0,33	2,11	-0,02	56	-0,52
PU0701	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU0702	0,10	0,11	0,33	0,21	1,44			
PU10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
PU29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
RE01	0,51	0,59	25,72	60,15	533,46	-1,04	518	-18,84

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-70

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
PR96	10,57	47,25	12,15	3,31	-0,23	12,40
PR97	10,61	40,07	11,95	2,82	-0,09	12,50
PR98	10,74	72,68	13,16	3,56	-0,29	13,12
PR99	5,75	148,23	10,69	5,14	-0,91	7,84
PU0101	47,78	29,70	48,77	3,97	-0,02	48,94
PU0102						
PU0103						
PU0104	40,36	-2,26	40,29	3,66	0,01	40,27
PU0201						
PU0202						
PU0203						
PU0204	109,87	-14,98	109,37	4,66	0,01	109,20
PU0301	174,43	30,72	175,45	5,20	-0,01	175,67
PU0302						
PU0303	44,27	6,34	44,48	3,83	-0,01	44,49
PU0401	172,70	10,97	173,06	5,17	0,00	173,15
PU0402						
PU0403	42,83	-37,04	41,60	3,32	0,13	43,53
PU0501	155,92	40,59	157,27	5,18	-0,04	154,72
PU0502						
PU0503	29,84	69,42	32,16	4,15	-0,22	30,30
PU0601						
PU0602	45,47	24,73	46,29	3,95	-0,04	46,22
PU0701						
PU0702	43,94	83,08	46,71	4,14	-0,09	46,62
PU10						
PU11						
PU12						
PU13						
PU14						
PU15						
PU16						
PU17						
PU18						
PU19						
PU20						
PU21						
PU22						
PU23						
PU24						
PU25						
PU26						
PU27						
PU28						
PU29						
RE01	14,88	206,93	21,78	5,07	-0,63	18,77

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-71

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
RE02	900730	1,8	2,5	2,1	31	55	0,03	5,15	6,00	7,00
RE03	900630	1,5	2,7	2,1	30	55	0,02	4,10	5,10	7,00
RE04	900630	1,2	2,5	1,8	60	55	0,18	4,30	8,15	
RE05	900630	1,2	6,4	3,8	90	55	0,07	4,43	6,50	
RE06	910813	2,8	3,6	3,2	25	55	0,02	1,44	5,08	7,00
RE07	910813	0,8	1,3	1,1	35	55	0,00	6,04	20,00	12,00
RE08	910813	0,4	0,6	0,5	61	55	0,36	6,25	9,05	4,00
RE09	900813	0,6	1,3	1,0	71	55	0,10	8,00	10,47	11,30
TU0101	900315	45,8	27,0	36,4	30	55	0,03		1,00	
TU0102	900426	34,0	20,8	27,4	30	55	0,02			
TU0103	900625	3,7	5,7	4,7	30	55				
TU0104	900802	3,5	4,7	4,1	60	110	0,10	5,00	6,00	
TU0105	901113	29,7	23,4	26,6	66	55	0,17	2,50	5,00	
TU0201	900315	37,0	27,1	32,0	30	55	0,02			
TU0202	900426	25,5	21,4	23,4	30	55	0,05	2,00	2,30	10,00
TU0203	900625	10,6	12,0	11,3	30	55				
TU0204	900802	5,7	9,7	7,7	40	110	0,01	1,50	2,15	15,00
TU0205	901113	28,5	30,1	29,3	37	55	0,04	1,40	2,30	
TU0301	900315	32,6	17,7	25,2	32	55	0,00			
TU0302	900426	28,5	15,0	21,8	30	55	0,02	3,00	3,40	6,50
TU0303	900625	3,9	4,0	4,0	30	55				
TU0304	900802	2,6	3,5	3,1	40	110	0,02	2,15	2,45	18,00
TU0305	901113	33,2	28,5	30,8	31	55	0,01	1,20	2,20	
TU0401	900315	5,1	9,7	7,4	30	55	0,04	1,27	1,30	
TU0402	900426	10,8	13,8	12,3	30	55	0,00	0,50	1,25	
TU0403	900725	0,8	2,2	1,5	62	55	0,04	3,00	4,54	
TU0404	900802	0,8	2,2	1,5	30	110	0,00	1,50	2,15	
TU0405	901113	9,1	21,7	15,4	28	55	0,00	0,52	1,30	
TU10	900190	10,3	10,1	10,2	79	55	0,02	1,06	1,00	
TU11	900118	17,0	17,9	17,4	30	55	0,01	2,20		
TU12	900118	7,0	18,9	13,0	30	55	0,01	2,24	2,40	1,55
TU13	900304	14,2	10,7	12,5	30	60	0,01	1,13		
TU14	900304	7,9	10,3	9,1	32	55	0,00	1,07		
TU15	900713	10,3	16,3	13,3	30	55	0,03	4,15	5,15	10,00
TU16	900713	1,7	2,9	2,3	49	55	0,04	4,10	5,44	15,00
TU17	910309	17,3	17,7	17,5	23	55	0,01	1,30	2,30	
TU18	910309	12,9	13,4	13,2	23	55	0,01	1,33	1,54	
TU19	910309	43,1	14,4	28,8	35	55	0,01	3,48	4,55	
TU20	920407	14,3	15,3	14,8	30	55	0,01	2,31		
TU21	920407	10,2	15,3	12,7	75	55	0,04	4,56		
TU22	900625	1,6	2,5	2,0	29	55	0,05	7,00	9,00	
TU23	900625	2,9	2,4	2,6	34	55	0,07	5,00	7,00	
TU24	900625	1,6	2,0	1,8	68	55	0,25	7,00	12,00	
TU25	900625	3,7	5,3	4,5	60	55	0,00	12,00	36,00	
TU26	900625	4,0	2,9	3,5	60	55		29,00		
TU27	900625	4,3	5,9	5,1	60	55				

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-72

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
RE02	8,45	0,50	10,25	0,19	0,34	0,12	7,09	34,60	7,73
RE03	6,00	1,25	16,32	0,30	0,47	0,17	5,37	28,12	5,85
RE04	13,00	1,00	5,17	0,09	0,18	0,03	7,75	40,99	8,46
RE05	13,00	1,00	18,79	0,34	0,52	0,04	7,99	24,75	8,72
RE06	5,30	0,75	17,18	0,31	0,51	0,22	5,02	26,47	5,48
RE07	20,00	0,33	3,93	0,07	0,28				
RE08	19,05	0,50	1,55	0,03	0,06	0,03	12,20	50,14	13,31
RE09	15,25	0,50	8,10	0,15	0,26	0,04	15,10	37,66	16,47
TU0101	3,00	2,00	15,77	0,29	0,53				
TU0102	4,15	1,00	20,09	0,37	0,54	0,14	3,02	24,40	3,29
TU0103			0,00	0,00	0,00			55,00	
TU0104	6,30	1,33	15,91	0,14	0,24	0,01	5,45	54,73	2,97
TU0105	8,00	0,70	8,19	0,15	0,28	0,02	9,59	27,75	10,46
TU0201	1,31	1,00	4,42	0,08	0,11	0,53	0,55	50,15	0,60
TU0202	3,00	2,78	16,04	0,29	0,48	0,05	1,86	16,82	2,03
TU0203			0,00	0,00	0,00			55,00	
TU0204	2,30	2,50	37,75	0,34	0,41	0,28	4,00	65,93	2,18
TU0205	7,00	1,00	8,84	0,16	0,28	0,10	6,42	38,89	7,00
TU0301	4,00	0,66	7,97	0,14	0,29				
TU0302	4,00	2,71	17,06	0,31	0,48	0,15	3,53	29,05	3,85
TU0303			0,00	0,00	0,00			55,00	
TU0304	3,00	2,08	37,45	0,34	0,51	0,06	3,31	43,92	1,80
TU0305	4,00	3,50	28,95	0,53	0,68	0,32	3,44	17,99	3,75
TU0401	2,00	2,33	20,00	0,36	0,56	0,07	1,17	17,01	1,28
TU0402	1,39	2,33	40,01	0,73	0,81	0,52	0,93	10,63	1,01
TU0403	7,00	1,33	18,36	0,33	0,49	0,07	6,10	27,33	6,66
TU0404	2,30	2,00	53,21	0,48	0,59	0,42	4,11	47,45	2,24
TU0405	1,50	1,56	40,70	0,74	0,85	1,37	1,66	10,22	1,82
TU10	1,21	2,33	26,02	0,47	0,52	0,16	1,53	26,04	1,67
TU11	4,32	2,50	36,46	0,66	0,89	0,36	3,22	8,98	3,52
TU12	4,00	1,83	35,40	0,64	0,87	0,24	3,75	5,97	4,09
TU13	2,00	2,23	35,53	0,59	0,70	0,32	1,86	17,46	1,86
TU14	8,00	1,40	4,34	0,08	0,18				
TU15	7,30	1,00	12,62	0,23	0,40	0,12	6,60	29,60	7,21
TU16	9,00	2,53	19,46	0,35	0,59	0,06	8,43	17,04	9,20
TU17	3,20	3,05	14,76	0,30	0,47	0,45	3,10	35,16	3,39
TU18	2,00	1,47	18,62	0,34	0,44	0,25	1,42	30,50	1,55
TU19	5,30		15,72	0,29	0,35	1,16	5,04	35,80	5,50
TU20	5,33	1,63	24,64	0,45	0,62	0,41	4,90	21,51	5,34
TU21	7,00		5,96	0,11	0,13	0,23	5,58	48,07	6,09
TU22	11,00	0,83	4,65	0,08	0,19	0,13	10,09	42,56	11,01
TU23	12,00	1,33	1,84	0,03	0,08	0,94	10,76	51,80	11,74
TU24	18,00	0,50	2,33	0,04	0,09	0,03	18,77	47,68	20,47
TU25	42,00	0,50	0,25	0,00	0,03				
TU26			0,00	0,00	0,00			55,00	
TU27			0,00	0,00	0,00			55,00	

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-73

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
RE02	87	41,25	12,82	22,38	31,18	39,85	0,07	0,19
RE03	99	33,32	11,59	19,11	26,19	33,22	0,16	0,30
RE04	58	148,22	13,61	26,30	38,22	49,61	0,01	0,04
RE05	67	135,58	13,35	24,00	32,71	40,33	0,03	0,13
RE06	121	26,80	10,91	17,76	24,38	31,00	0,21	0,35
RE07								
RE08	57	103,58	13,75	27,24	40,43	53,42	0,00	0,01
RE09	73	106,64	13,75	26,50	37,68	48,03	0,00	0,04
TU0101								
TU0102	73	38,04	10,52	17,21	23,38	29,49	0,24	0,37
TU0103			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
TU0104	112	343,00	26,57	50,80	73,09	93,79	0,03	0,08
TU0105	60	275,85	13,65	26,09	37,27	47,49	0,01	0,05
TU0201	57	4,88	12,70	25,23	37,77	50,31	0,08	0,08
TU0202	59	115,10	11,49	19,26	25,20	30,25	0,16	0,30
TU0203			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
TU0204	147	17,33	20,30	36,85	53,33	69,81	0,26	0,33
TU0205	72	42,88	12,99	23,55	33,45	43,21	0,06	0,14
TU0301								
TU0302	76	33,43	11,07	18,77	26,08	33,35	0,19	0,32
TU0303			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
TU0304	117	89,33	22,87	38,91	52,03	63,92	0,17	0,29
TU0305	142	20,22	8,36	12,90	17,40	21,90	0,39	0,53
TU0401	58	83,53	10,59	17,21	22,35	26,93	0,23	0,37
TU0402	85	12,70	4,50	7,15	9,81	12,47	0,67	0,74
TU0403	71	73,79	12,73	21,91	29,58	36,71	0,07	0,20
TU0404	208	13,89	16,16	28,03	39,89	51,75	0,41	0,49
TU0405	546	6,27	4,08	6,63	9,19	11,74	0,70	0,76
TU10	64	30,54	9,72	16,51	23,05	29,56	0,29	0,40
TU11	175	20,65	6,63	8,90	11,14	13,39	0,52	0,68
TU12	137	32,06	7,62	9,33	10,83	12,32	0,45	0,66
TU13	94	19,13	7,53	11,92	16,29	20,65	0,50	0,60
TU14								
TU15	90	44,54	12,47	20,97	28,55	35,98	0,09	0,24
TU16	85	94,61	13,05	21,42	27,28	32,15	0,05	0,22
TU17	126	12,37	10,47	19,26	28,05	36,84	0,24	0,30
TU18	67	19,05	9,63	17,30	24,93	32,55	0,30	0,37
TU19	11449	8,92	10,81	19,76	28,71	37,66	0,21	0,28
TU20	313	17,80	9,43	14,83	20,21	25,58	0,31	0,46
TU21	76	17,90	13,11	25,19	37,21	49,23	0,05	0,08
TU22	92	37,94	13,53	24,97	35,73	46,39	0,02	0,09
TU23	>100000	13,68	13,60	26,56	39,51	52,46	0,01	0,03
TU24	61	109,22	13,75	27,33	40,33	52,92	0,00	0,01
TU25								
TU26			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00
TU27			13,75	27,50	41,25	55,00	0,00	0,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-74

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
RE02	0,24	0,28	18,42	22,49	188,72	-1,02	268	-7,80
RE03	0,37	0,40	18,16	33,82	296,30	0,34	294	-10,35
RE04	0,07	0,10	50,74	53,43	262,51	0,94	884	-17,97
RE05	0,21	0,27	62,59	370,35	1176,22	0,49	401	-3,33
RE06	0,41	0,44	14,64	23,93	251,65	0,02	529	-1,48
RE07			1,28	0,69	5,01	0,00	84	-8,06
RE08	0,02	0,03	6,03	2,09	9,36	-0,17	356	-4,75
RE09	0,09	0,13	5,24	10,33	42,44	0,10	958	-0,10
TU0101			0,22	0,30	3,48	-0,01	841	-27,28
TU0102	0,43	0,46	0,13	0,23	2,68	0,00	889	18,88
TU0103	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TU0104	0,11	0,15	0,40	1,08	6,29	0,01	148	-1,32
TU0105	0,10	0,14	0,13	0,19	1,03	0,00	206	2,63
TU0201	0,08	0,09	0,52	0,20	2,30	0,00	286	-6,99
TU0202	0,39	0,45	0,43	0,63	6,95	-0,02	188	-7,43
TU0203	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TU0204	0,35	0,37	0,12	0,53	4,39	0,00	240	-7,70
TU0205	0,19	0,21	0,09	0,09	0,76	0,00	71	1,96
TU0301			0,18	0,12	1,44	0,00	253	-12,05
TU0302	0,37	0,39	1,44	1,94	24,64	-0,01	206	-6,70
TU0303	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TU0304	0,37	0,42	0,24	0,96	9,13	-0,01	309	-10,24
TU0305	0,58	0,60	0,34	0,79	9,78	0,00	111	3,99
TU0401	0,46	0,51	2,91	4,02	58,22	-0,05	234	-9,80
TU0402	0,76	0,77	2,07	5,71	82,75	0,03	182	-8,55
TU0403	0,28	0,33	2,41	6,31	44,24	-0,08	203	-1,67
TU0404	0,52	0,53	1,66	6,11	88,57	-0,08	203	-3,33
TU0405	0,78	0,79	1,15	3,04	46,78	-0,06	104	-0,89
TU10	0,44	0,46	0,81	6,66	21,15	0,00	202	-0,13
TU11	0,73	0,76	0,53	2,26	19,16	-0,01	235	-3,72
TU12	0,74	0,78	14,38	59,50	508,84	0,52	207	-1,24
TU13	0,64	0,66	2,94	12,36	104,61	-0,02	345	-5,25
TU14			4,28	2,34	18,59	0,08	316	-16,40
TU15	0,31	0,35	5,71	8,13	72,11	0,00	637	5,54
TU16	0,34	0,42	8,56	23,89	166,69	0,69	581	-12,80
TU17	0,32	0,33	0,29	0,45	4,28	-0,04	135	-5,00
TU18	0,40	0,41	14,90	24,20	277,37	-0,50	113	-2,17
TU19	0,30	0,32	0,20	0,44	3,14	0,00	93	-0,47
TU20	0,51	0,53	3,14	9,18	77,44	-0,27		
TU21	0,10	0,10	1,10	1,95	6,56	0,00		
TU22	0,13	0,16	0,98	0,53	4,58	-0,13	374	-1,13
TU23	0,04	0,05	0,62	0,15	1,13	0,00		
TU24	0,02	0,04	0,36	0,23	0,84	-0,02		
TU25			0,04	0,00	0,01	0,00		
TU26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
TU27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
RE02	29,10	204,34	35,91	4,58	-0,30	35,20
RE03	21,02	202,20	27,76	4,66	-0,40	26,77
RE04	43,21	154,82	48,37	4,29	-0,12	48,86
RE05	22,21	431,96	36,61	4,86	-0,36	37,81
RE06	17,49	199,53	24,14	4,66	-0,45	22,96
RE07	14,41	847,41	42,66	6,15	-0,70	42,65
RE08	50,69	72,32	53,10	4,12	-0,04	53,22
RE09	34,62	364,55	46,77	4,67	-0,24	47,43
TU0101	25,38	133,73	29,84	4,71	-0,43	25,92
TU0102	21,18	135,19	25,69	4,43	-0,37	24,08
TU0103						
TU0104	82,74	217,65	90,00	4,99	-0,14	91,20
TU0105	36,61	262,05	45,35	4,62	-0,23	46,55
TU0201	49,89	3,90	50,02	3,97	-0,02	49,48
TU0202	27,97	108,23	31,58	4,47	-0,33	28,55
TU0203						
TU0204	61,28	115,08	65,11	4,66	-0,14	64,41
TU0205	35,71	145,89	40,57	4,38	-0,20	40,31
TU0301	38,73	87,08	41,63	4,32	-0,18	40,23
TU0302	24,98	133,55	29,43	4,41	-0,32	27,95
TU0303						
TU0304	54,99	214,92	62,15	5,12	-0,31	58,14
TU0305	11,32	138,07	15,92	4,26	-0,45	15,61
TU0401	24,86	86,00	27,73	4,42	-0,36	24,14
TU0402	8,40	40,81	9,76	3,37	-0,34	8,98
TU0403	24,76	245,26	32,93	4,64	-0,33	33,77
TU0404	38,55	146,53	43,44	4,65	-0,28	41,13
TU0405	6,86	43,62	8,31	3,29	-0,37	7,74
TU10	25,34	58,86	27,30	3,91	-0,17	28,22
TU11	3,60	110,76	7,30	4,71	-0,86	6,04
TU12				5,45	-1,16	4,54
TU13	12,64	96,43	15,86	4,14	-0,43	14,41
TU14	42,53	108,21	46,14	4,33	-0,15	45,39
TU15	23,40	237,50	31,31	4,79	-0,41	30,20
TU16	12,90	424,84	27,07	5,46	-0,63	27,16
TU17	29,48	76,69	32,03	4,08	-0,19	30,70
TU18	28,22	54,15	30,03	4,03	-0,21	27,47
TU19	33,60	43,61	35,05	3,79	-0,07	35,08
TU20	13,15	166,62	18,71	4,33	-0,41	18,56
TU21	47,29	33,14	48,40	3,97	-0,03	48,67
TU22	36,65	201,59	43,37	4,54	-0,23	42,82
TU23	49,67	47,87	51,26	4,11	-0,05	51,12
TU24	47,05	176,79	52,95	4,30	-0,10	53,22
TU25	48,33	296,09	58,20	4,40	-0,10	57,19
TU26						
TU27						

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-76

Prueba	Fecha	hs %	hss %	hsm %	d min	int mm/h	s.i mm/h/h	tp min	te min	tgc min
TU28	900625	1,8	4,4	3,1	40	55	0,04	5,00	9,30	18,00
TU29	900625	1,6	2,9	2,3	40	55	0,05	5,00	9,30	18,00

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-77

Prueba	tes min	tef min	Esm mm/h	Ce	Ce25	alfa min-1	Po mm	fc mm/h	to min
TU28	12,00	2,51	6,76	0,12	0,21	0,22	11,00	43,41	12,00
TU29	11,00	2,51	7,32	0,13	0,25	0,10	10,11	39,80	11,03

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-78

Prueba	fo mm/h	tc min	Vi15 mm	Vi30 mm	Vi45 mm	Vi60 mm	Ce0-15	Ce15-30
TU28	200	27,15	13,55	24,81	35,67	46,53	0,01	0,10
TU29	86	47,14	13,53	24,73	34,95	44,96	0,02	0,10

Resultados de los experimentos con lluvia simulada

F-79

Prueba	Ce30-45	Ce45-60	sd gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	ts
TU28	0,14	0,15	29,79	31,51	201,35	0,91	442	-20,96
TU29	0,15	0,18	27,20	29,95	199,18	0,61	442	-20,96

Prueba	a	b	ab30	q	z	qz30
TU28	38,27	169,05	43,91	4,31	-0,15	44,18
TU29	34,57	229,26	42,21	4,52	-0,23	42,47

APÉNDICE G

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS CON VARIAS INTENSIDADES DE LLUVIA

Resultados de los experimentos con varias intensidades de lluvia simulada

G-1

Prueba	fecha	hs (%)	hss (%)	hsm (%)	dexp min	intm mm/h	tp min	te min	tcg min	ts min
AN0103B	900721	6,08	9,49	7,79	60,00	88,4	7,00			33,30
AN0503B	900224	26,01	14,16	20,09	90,00	140,0	15,00			20,00
AN0603B	900723	4,85	12,82	8,84	60,00	150,0	8,00	11,00		13,00
AN0703B	900723	7,76	9,95	8,86	60,00	135,0	6,00	7,00	8,00	8,00
BO1101B	900813	1,69	1,22	1,46	60,00	91,6	21,00	32,00		33,30
GE0303B	900721	0,67	0,58	0,63	86,00	62,5	7,30	47,00		54,00
GE0603B	900720	4,10	5,13	4,62	90,00	159,3	10,00			33,00
MN0904B	900804	1,28	1,44	1,36	90,00	76,6	10,30	60,40		61,00
MN1103B	900803	2,49	3,27	2,88	60,00	86,2	20,00	24,00	30,00	27,00
MN1605B	900805	1,86	2,79	2,33	60,00	86,9	31,00	34,00	2,30	37,00
PE0101B	900802	1,00	2,13	1,57	90,00	100,2	5,40	40,00		42,12
PE0201B	900208	0,60	2,15	1,38	40,00	98,2	1,20	1,30		2,00
PE0301B	900802	1,85	1,68	1,77	30,00	90,0	1,50	2,30		2,52
PE0401B	900802	1,96	2,84	2,40	90,00	139,8	4,00	34,00		37,00
PE0402B	901216	13,22	23,19	18,21	60,00	69,5	2,00	3,49		4,45
PE0501B	900802	1,05	2,13	1,59	66,00	79,3	5,58	14,00		15,00
PE0502B	901216	8,42	14,98	11,70	90,00	120,0	1,30	2,20		4,00
PR0207B	910104	18,19	10,49	14,34	60,00	97,5	1,10	2,00		2,15
PR0803B	900725	1,09	2,42	1,76	33,00	60,0	2,11	3,55	8,15	6,48
PR1402B	900717	1,23	0,00	0,62	31,00	87,2	1,25	2,10	5,30	2,45
PU0102B	900726	1,57	1,40	1,49	60,00	89,0	25,00			32,49
PU0202B	900726	0,82	1,92	1,37	75,00	94,2	4,14	22,00		32,30
PU0303B	901209	3,03	3,49	3,26	60,00	117,5	1,10	2,20		3,15
PU0403B	901209	7,20	15,65	11,43	60,00	82,5	1,00	1,30		2,00
PU0503B	901209	5,87	3,58	4,73	60,00	87,5	1,00	1,30		2,00
PU0602B	901209	3,03	3,49	3,26	60,00	117,5	1,30	2,40		4,00
PU0702B	901209	10,36	1,85	6,11	90,00	118,3	6,10	8,40		10,00
TU19B	910309	43,10	0,00	21,55	46,26	72,2	3,48	4,55		5,30

Resultados de los experimentos con varias intensidades de lluvia simulada

G-2

Prueba	tfe min	Esm mm/h	Ce	Ce25	sc gr/l	sy gr	er gr/m2/h	tcs	Sa µs	tSa
AN0103B	0,66	9,91	0,11	0,17	0,72	1,9	7,1	0,01	273	-2,94
AN0503B	0,83	3,20	0,02	0,05	0,10	0,1	0,3	0,01	444	-17,25
AN0603B	0,31	4,34	0,03	0,04	0,38	0,4	1,7	0,01	178	-1,56
AN0703B	1,00	8,15	0,06	0,09	0,59	0,8	4,8	0,00	176	-0,04
BO1101B	0,33	1,54	0,02	0,01	2,51	0,9	3,9	0,09	249	-3,79
GE0303B	1,66	9,71	0,16	0,31	0,44	1,5	4,2	-0,05	78	-4,52
GE0603B	3,38	2,73	0,02	0,02	0,18	0,2	0,5	-0,01	141	-1,61
MN0904B	0,50	7,84	0,10	0,12	0,52	1,4	4,0	-0,03	118	-1,52
MN1103B	1,16	4,99	0,06	0,09	3,98	4,6	19,9	-0,04	183	-3,24
MN1605B	0,50	4,81	0,06	0,08	0,38	0,4	1,8	0,03	156	-1,91
PE0101B	0,61	7,31	0,07	0,06	13,36	27,2	97,6	-0,73	236	-1,68
PE0201B	0,83	42,76	0,44	0,47	1,16	6,0	49,7	-0,07	411	-13,09
PE0301B	0,75	15,24	0,17	0,12	3,62	6,6	55,2	-0,38	397	-13,64
PE0401B	0,50	2,85	0,02	0,05	0,52	0,6	1,5	-0,02	170	-1,82
PE0402B	1,66	46,26	0,67	0,69	1,03	13,5	47,8	-0,04	77	-1,09
PE0501B	2,15	18,14	0,23	0,49	2,17	9,8	39,4	0,08	679	-23,09
PE0502B	2,00	97,93	0,82	0,94	10,49	348,8	1026,9	-0,17	119	-1,84
PR0207B	1,00	23,84	0,24	0,27	0,69	3,7	16,4	-0,01	113	-1,98
PR0803B	2,33	36,02	0,60	0,92	54,23	212,1	1953,6	0,48	270	-5,98
PR1402B	1,00	76,43	0,88	0,95	57,48	393,1	4393,0	0,53	584	-28,92
PU0102B	1,31	11,29	0,13	0,29	1,48	2,9	16,8	0,13	107	-0,77
PU0202B	1,00	13,87	0,13	0,20	2,33	7,4	32,4	-0,17	107	-1,30
PU0303B	1,16	25,33	0,22	0,23	0,42	2,5	10,6	0,01	87	-0,46
PU0403B	0,83	24,49	0,30	0,32	0,23	1,0	5,5	0,00	58	0,03
PU0503B	1,53	33,93	0,39	0,41	0,10	0,7	3,5	0,01	59	-0,24
PU0602B	1,30	19,70	0,17	0,19	0,32	2,0	6,3	-0,02	56	-0,52
PU0702B	1,33	21,04	0,18	0,23	0,33	3,0	7,0	0,00	43	-0,75
TU19B	2,74	24,86	0,34	0,45	0,18	0,8	4,4	0,00	90	-0,60