

Eficacia de las microcuencas en la supervivencia del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y de la encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) en distintos ambientes mediterráneos

E. De Simón Navarrete*¹, M. Á. Ripoll Morales¹, E. Fernández Ondoño², F. B. Navarro Reyes¹, M. N. Jiménez Morales¹ y E. Gallego Teruel¹

¹ Departamento Forestal. Área de Recursos Naturales. Centro de Investigación y Formación Agraria. (IFAPA, C.I.C.E., Junta de Andalucía). Camino de Purchil, s/no. Apto. 2027. 18080 Granada, España

² Dpto. Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. C/Severo Ochoa, s/n. 18071 Granada, España

Resumen

Uno de los factores más limitantes para las repoblaciones de las zonas mediterráneas es el agua, de forma que la supervivencia y desarrollo de éstas siempre aparece ligado a la disponibilidad de recursos hídricos. En este trabajo se valora la eficacia de unas estructuras hidráulicas asociadas a la preparación del terreno, las microcuencas, que actúan como captadoras de escorrentías para aumentar la disponibilidad de agua en la repoblación. Para ello se ha medido la cantidad de agua que llega a las banquetas de plantación construidas con y sin microcuencas cuantificando la precipitación + escorrentía superficial aportada por el área de impluvio de cada banqueta y la supervivencia de una repoblación de encinas y pinos en cuatro localidades con características climáticas y edáficas diferentes. Los resultados obtenidos muestran como la disponibilidad de agua depende tanto de la cantidad de agua que llega a la banqueta como de las propiedades físicas del suelo, siendo las zonas que normalmente se han considerado más difíciles de restaurar por su perfil desestructurado, la presencia de costras físicas superficiales y la escasa cubierta vegetal, las que responden mejor a la técnica de captación de escorrentías mediante microcuencas.

Palabras clave: preparación del terreno, escorrentía superficial, disponibilidad hídrica.

Abstract

Responses of the aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) and the holm oak (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) to the collection of overland runoffs through minicatchments in different Mediterranean environments

Water is one of the most limiting factors in the forestation of Mediterranean areas, so that the survival and development of these areas is always connected to the availability of water resources. The aim of this study is to assess the efficiency of a series of hydraulic structures linked to land preparation, called minicatchments, as runoff collectors meant to increase water availability in the forestation. In order to do so, the amount of overland runoff reaching every seedling, as well as the survival of the reforestation in four places with different climatic and edaphic characteristics have been assessed. Results obtained show how water availability depends both on the amount of water reaching the bank and on the physical properties of the land. The areas that have normally been considered more difficult to restore due to a de-structured profile, to the presence of superficial physical crusts and to a scarce vegetal cover are the ones showing a better response to the technique of runoff collection trough minicatchments.

Key words: minicatchment, overland runoff, soil moisture.

Introducción

El clima Mediterráneo se caracteriza por la existencia de un intenso período de sequía estival, lo que unido

a lo imprevisible de las precipitaciones tanto en cantidad como en su reparto espacial y temporal (Joffre *et al.*, 1999), condiciona el éxito de las repoblaciones en estas zonas.

En las repoblaciones forestales de estas zonas, debe plantearse una estrategia para el aprovechamiento de los escasos recursos de agua que recibe el suelo siendo la preparación del suelo la forma más eficaz

* Autor para la correspondencia: estanislaosimon@juntadeandalucia.es

Recibido: 13-09-05; Aceptado: 14-06-06.

para optimizar estos recursos. Cuando estas preparaciones llevan asociadas algún tipo de estructura hidráulica (caballones, microcuencas, fajas discontinuas, etc.) pueden incrementar la disponibilidad de agua en el entorno de la planta forestada lo que mejora las condiciones iniciales de la repoblación (Bocio, 2002).

En los procedimientos puntuales de preparación del suelo, el agua de lluvia que recibe cada planta, puede complementarse con las escorrentías superficiales mediante la formación de microcuencas, con regueros laterales que definen y amplían su impluvio directo, y con la construcción de cuencos receptores de escorrentías, que modifican la estructura tradicional del ahoyado y cuya función es recoger y retener estas escorrentías (De Simón *et al.*, 2004).

De hecho, en el clima Mediterráneo la configuración del ambiente fitoclimático es muy sensible a eventuales cambios de suelo y relieve, siendo tan importante el efecto de la escorrentía que las unidades del paisaje tienden a reflejar los patrones espaciales de esta variable (González Rebollar, 1999).

El aprovechamiento del agua de escorrentía recogida en el impluvio directo de un grupo de árboles o de un sólo árbol, es una técnica de cultivo muy antigua practicada por los agricultores de las zonas mediterráneas (De Simón, 1990; Tenbergen *et al.*, 1995; FAO, 2000). Esta técnica, que no constituye ninguna novedad para el medio agrario, se está utilizando en los últimos años en forestaciones de tierras agrarias (De Simón *et al.*, 2001; Bocio *et al.*, 2004) y en repoblaciones forestales (De Simón, *oput cit.*; Prinz, 2001; Fuentes *et al.*, 2004) de zonas áridas y semiáridas mediterráneas con el objetivo de aumentar los recursos hídricos disponibles durante el período de adaptación y establecimiento en campo que es cuando las plántulas son más vulnerables a los efectos de la escasez de agua propia de estas zonas, ya que la construcción de la microcuenca provoca la concentración de los flujos de escorrentías superficiales en la banqueta de plantación.

Pero la disponibilidad de los recursos hídricos no depende únicamente de la cantidad de agua que llega a la banqueta de plantación, existiendo otros factores, como son el tipo de cobertura vegetal existente y las propiedades físicas de cada suelo, los que determinan el comportamiento hídrico en respuesta a las variaciones meteorológicas (Cerdà, 1995), ya que en zonas mediterráneas, tras los largos períodos de sequía, la llegada de las lluvias no tiene porqué tener un reflejo inmediato en

la captación de agua por las plantas (Fernández, 2003; Gil-Pelegrín *et al.*, 2005).

Todos estos factores implican que el contenido de agua del suelo y su disponibilidad sea relativamente independiente de las precipitaciones. De hecho existe una estrecha relación entre propiedades físicas del suelo, disponibilidad y contenido hídrico que hace que suelos con igual contenido en agua pero con características edáficas distintas den lugar a respuestas diferentes por parte de una misma especie (Valladares, 2001; Ripoll, 2004).

El Departamento Forestal del CIFA de Granada inició en 1995 el Proyecto de Investigación (FO96-022) «Evaluación de técnicas de repoblación en la forestación de tierras agrarias» en el cual una de la preparaciones evaluadas, fueron las banquetas con microcuencas, obteniéndose resultados altamente satisfactorios para las dos especies utilizadas, pino carrasco y encina (Bocio *et al.*, 2004). Continuando esta línea de investigación, el Departamento Forestal del CIFA de Granada, desarrolló el Proyecto de I+D, 0FD97-1117-CO5-05, «Aprovechamiento de escorrentías superficiales en repoblaciones y forestaciones con encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) y con pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) mediante la formación de microcuencas» cofinanciado con fondos FEDER y de la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología) cuyos resultados se refieren en este trabajo.

El objetivo de este trabajo es valorar la eficacia de las microcuencas en la supervivencia del pino carrasco y de la encina en distintos ambientes mediterráneos con características climáticas y edáficas diferentes.

Material y Métodos

Áreas de estudio

Las 4 áreas de estudio se localizan en el Sureste de la Península Ibérica, concretamente en la provincia de Granada (Figura 1).

Rambla Becerra (en adelante RB) y Altiplano del Conejo (en adelante Alt) se localizan en la Depresión de Guadix-Baza y sus coordenadas son 37° 26' N y 3° 05' W. Las parcelas de Rambla Becerra están situadas en el fondo de una rambla a 950 m de altitud mientras que las del Altiplano están situadas en las laderas que enlazan el altiplano con el fondo de la rambla a 1.000 m. La vocación secular de esta zona ha sido agrícola

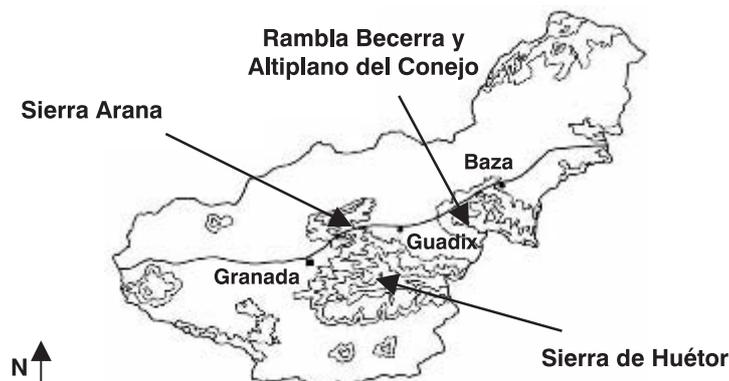


Figura 1. Localización de las zonas de ensayo (E: 1:3.000.000).

Tabla 1. Características climáticas de las localidades de ensayo (RB: Rambla Becerra, Alt: Altiplano, SA: Sierra Arana, SH: Sierra de Huétor.). (Alcaraz, 2002)

	RB	Alt	SA	SH
Termotipo	Mesomediterráneo	Mesomediterráneo	Mesomediterráneo	Supramediterráneo
Ombrotipo	Seco inferior	Seco inferior	Subhúmedo inferior	Subhúmedo superior
Temperatura media anual (°C)	13,5	13,5	13,7	11,9
Precipitación anual (mm)	304	304	674	837

hasta el año 1993 cuando se abandonaron los cultivos de cereal.

Las parcelas de Sierra Arana (en adelante SA), cuyas coordenadas son 37° 21' N y 3° 27' W están situadas en una ladera a 1.150 m de altitud. Se trata de terrenos de vocación forestal y ganadera en donde predominan las repoblaciones de *Pinus halepensis*.

Las parcelas de Sierra de Huétor (en adelante SH), cuyas coordenadas son 37° 14' N y 3° 12' W están situadas en una ladera a 1.250 m de altitud. Se trata de terrenos de clara vocación forestal que han sufrido graves incendios forestales en los últimos años estando la vegetación actual formada por matorrales arbustivos y pies sueltos de encina.

Las características climáticas (Alcaraz, 2002) de cada zona se resumen en la Tabla 1. Se observa cómo estas zonas presentan algunos de los ombrotipos más representativos de los ambientes mediterráneos destacando que RB y Alt están situadas en una zona de transición entre zonas secas y semiáridas lo que implica

que algunas especies normalmente usadas en la forestación, como ocurre con la encina, estén en su límite de distribución natural, y este hecho supone una limitación más en zonas que ya de por sí presentan otros factores muy desfavorables para la supervivencia de esta especie.

Las características edáficas (FAO-ISRIC, 1998) de las cuatro localidades se resumen en la Tabla 2. Las laderas de RB y Alt donde se instalaron las parcelas de plantación de pinos y encinas respectivamente presentan una gran homogeneidad edáfica mientras que en SA y SH no fue posible encontrar una ladera homogénea desde el punto de vista edáfico razón por la cual se han descrito dos tipos de suelo en cada una de estas zonas.

Diseño experimental

En la Foto 1, vista aérea que corresponde a la RB, se observa el diseño experimental completo.

Tabla 2. Características edáficas de las localidades de ensayo (RB: Rambla Becerra, Alt: Altiplano, SA: Sierra Arana, SH: Sierra de Huétor) y situación de las parcelas de plantación de pinos y encinas en cada localidad (CM: Con microcuencas, SM: Sin microcuencas). (FAO-ISRIC, 1998)

	RB		Alt		SA		SH	
Especie	Pino		Encina		Encina		Pino	
Parcela	CM	SM	CM	SM	SM	CM	CM y SM	SM
Tipo de suelo	Fluvisol arénico-calcárico		Calcisol pétrico		Calcisol léptico	Calcisol hiper- cálcico	Calcisol hipercálcico	
Pendiente (%)	8		15		17		17	
Textura	Franco-arenosa		Fr-arcillo-arenosa		Franco- arcillosa	Limosa	Franca	
Arcilla (%)	10,9		22,7		34,9		16,4	
Limo fino (%)	11,1		16,1		25,6		31,1	
Limo grueso (%)	4,9		2,9		9,5		33,9	
Arenas (%)	73,0		54,5		30,3		18,6	
Gravas (%)	19,3		65,6		84,6		39,3	
Estructura superficial	Laminar		En bloques subangulares		Migajosa	Migajosa	Laminar	
Pedregosidad superficial	Clase 0		Clase 3		Clase 4	Clase 3	Clase 3	
							Clase 0	

Parcelas de plantación de encinas y pinos

En función de las características ecológicas de cada zona se establecieron parcelas de plantación de encinas, pinos carrascos o de ambas especies, en parcelas sepa-

radas. En SA y en el Alt se plantaron encinas, en RB únicamente se plantaron pinos carrascos mientras que en SH se pudieron instalar las dos especies. Para cada especie se instaló un bloque formado por dos parcelas, una con microcuencas y otra sin microcuencas. En el

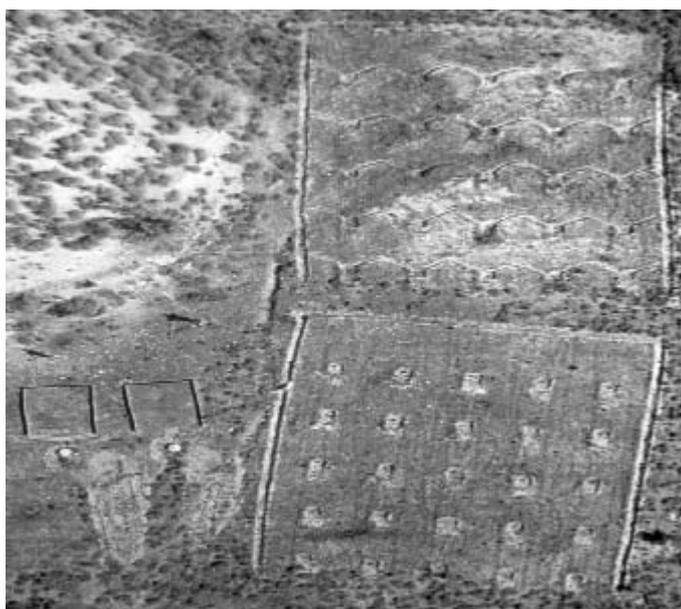


Foto 1. Vista aérea del diseño experimental en Rambla Becerra.

caso de las encinas se plantaron 50 plántulas en cada parcela mientras que las de pinos fueron de 25 plántulas por parcela.

Cada parcela de plantación de pinos tiene 20×25 m (500 m^2) y la plantación se realizó con marco regular de 4×5 m de forma que cada planta tiene 20 m^2 de impluvio directo. Las encinas se plantaron con el mismo marco en parcelas de 1.000 m^2 (20×50 m) Todas las parcelas se independizaron del resto del terreno mediante un surco perimetral que evita la entrada de escorrentías superficiales laterales procedentes del entorno.

La preparación del terreno se realizó en octubre del año 1999 en hoyos con retroexcavadora. Esta técnica de preparación del suelo pone a disposición de la planta repoblada un volumen de tierra eficaz más ó menos mullida, en la zona donde se va a desarrollar el incipiente sistema radical. En las preparaciones con microcuencas se ha aumentado y definido la zona de impluvio directo mediante la construcción de regueros laterales que dirigen el flujo de escorrentía superficial hacia la banqueta y que no se realizan en las preparaciones sin microcuencas.

La plantación se realizó, de forma manual, en noviembre de 1999; las plantas procedían del Vivero Ponce Lajara de Huéscar (Granada) y cumplían los requisitos mínimos de calidad (Navarro *et al.*, 1998).

Para evitar la influencia que sobre la generación de escorrentía superficial tiene la cubierta vegetal arbustiva (Young y Burnell, 1972; Lyons y Gifford, 1980; Francis *et al.*, 1986; Bolin y Ward, 1987; Wood *et al.*, 1987; Jonson y Gordon, 1988; Wilcox *et al.*, 1988; Faulkner, 1990; Parsons *et al.*, 1991; Cerdà, *oput cit.*) fue necesario eliminarla en las parcelas de SA y SH que eran las únicas que la presentaban, mediante desbroces mecánicos, ya que en RB y Alt lo único que aparecía era un pastizal ralo de carácter anual.

Otro de los factores topográficos que más influye en la generación de escorrentías superficiales es la pendiente (Mun *et al.*, 1973; Poesen, 1984; Luk *et al.*, 1986). Las parcelas de plantación y las de captación de escorrentías se han situado en terrenos donde la pendiente alcanza los valores medios más representativos de cada localidad.

Parcelas de captación y medición de escorrentías superficiales

En cada localidad y al lado de las parcelas de plantación se instalaron dos parcelas de 20 m^2 cada una para

medir la escorrentía, con la misma forma y tamaño de la banqueta, una de ellas con microcuencas (cerrada) y la otra sin ellas (abierta). Estas parcelas se independizaron del resto del terreno mediante unas chapas metálicas para impedir la recogida de escorrentías laterales. Además estas chapas se introdujeron en el suelo 50 cm para evitar en lo posible las escorrentías subsuperficiales. El agua de escorrentía producida en cada episodio de lluvia se recogía en un bidón de 200 litros, en donde se media el volumen de escorrentía superficial.

En RB, Alt y SA se han recogido escorrentías durante el período comprendido entre abril de 2000 y marzo de 2003 mientras que en SH se ha estudiado el período comprendido entre abril de 2000 y marzo de 2001.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos han sido realizados con el paquete estadístico Statgraphics Plus Versión 4.0.

Análisis de correlación entre precipitación y escorrentía superficial

Con las medidas de precipitación (variable independiente) y escorrentía (variable dependiente) se ha realizado un análisis de correlación para intentar evaluar cuáles son los factores externos (edáficos, topográficos y climáticos) que afectan a la generación de escorrentías superficiales.

Con este análisis se ha pretendido transformar los datos de precipitación en cantidad de agua real que llega a la banqueta de plantación siempre que el coeficiente de correlación (r) entre ambas variables sea alto. El error de r se ha estimado mediante la técnica Monte Carlo.

Los datos se transformaron cuando fue necesario para asegurar la normalidad, linealidad y homocedasticidad de los mismos.

Análisis de la supervivencia de la plantación

Durante los años 2000, 2001 y 2002 se han realizado el seguimiento de la supervivencia, con muestreos en los meses de marzo, julio y octubre de cada año. La supervivencia de cada especie ha sido analizada mediante

curvas de supervivencia de Kaplan-Meier, y el análisis estadístico se realizó mediante el Test de Log-rang (Fox, 1993).

Resultados

Captación de escorrentías superficiales

En la Tabla 3 se resume el análisis de correlación y regresión entre episodios de precipitación y volumen de escorrentías por ellos generados en cada localidad en función de la preparación del terreno (con y sin microcuencas).

Se observa una relación directa entre precipitación y escorrentía en todas las localidades con cualquier preparación (valores de $r > 0,7$ y $p < 0,01$) aunque en SH los valores de r son más bajos para ambas preparaciones ($r < 0,6$).

En las cuatro localidades se ha encontrado que el patrón de generación de escorrentías depende de la condición previa de humedad del suelo, de forma que los valores de éstas presentan una importante dispersión para

cada episodio de lluvia. Por ejemplo, en RB el episodio de lluvia registrado el 12 de octubre de 2001 (42,5 mm) originó un volumen de escorrentía de 165 l, mientras que una precipitación similar (41,7 mm) registrada el 30 de junio de 2002 originó 60 l de volumen de escorrentía. En el primer caso la condición previa de humedad del suelo era alta ya que se habían producido lluvias de gran volumen los días 19, 20, 22, 27, 28 y 29 de septiembre destacando los 20,4 mm recogidos el día 27, mientras que en el segundo caso los días precedentes con precipitación se habían producido en mayo (2, 3, 6, 7 y 8) siendo la máxima registrada de 3,5 litros el 7 de mayo con lo cual la condición de humedad del suelo sería baja. Este mismo patrón se ha observado en el resto de localidades.

Así sobre suelo húmedo la cantidad de escorrentía generada suele ser alta en todas las localidades sin necesidad de que las lluvias que la generan sean de gran volumen y/o intensidad mientras que sobre suelo seco la escorrentía generada suele ser baja aunque el evento de lluvia sea abundante. Este patrón coincide con lo observado en zonas mediterráneas por otros autores (Castillo *et al.*, 1997; López-Alonso, 2001; Calvo-Cases *et al.*, 2003).

Tabla 3. Análisis de correlación y regresión entre episodios de precipitación (Pp, mm) y volumen de escorrentía (Esc, litros) generado por ellos en cada localidad en función de la preparación. (n: número de eventos de precipitación registrados durante el período de estudio en cada localidad; RB: Rambla Becerra; Alt: Altiplano; SA: Sierra Arana; SH: Sierra de Huetor)

Localidad	Período de estudio	n	Coeficiente de correlación (r), ecuación de regresión, error del modelo y significación	
			Con microcuencas	Sin microcuencas
RB	Abril 00/ Marzo 03	136	0,9015 ± 0,0003 Esc = -6,7641 + 2,7707 × Pp Error = 11,65 p < 0,01	0,7685 ± 0,0005 Esc = -3,7684 + 1,0858 × Pp Error = 5,30 p < 0,01
Alt	Abril 00/ Marzo 03	136	0,7714 ± 0,0007 Esc = -0,5848 + 0,2948 × Pp Error = 1,55 p < 0,01	0,7398 ± 0,0018 Esc = -0,04698 + 0,0340 × Pp Error = 0,31 p < 0,01
SA	Abril 00/ Marzo 03	161	0,8443 ± 0,0014 Esc = -9,2726 + 1,6571 × Pp Error = 12,30 p < 0,01	0,9118 ± 0,0012 Esc = -0,8039 + 0,1506 × Pp Error = 0,75 p < 0,01
SH	Abril 00/ Marzo 01	42	0,5790 ± 0,0011 Esc = -62,4979 + 7,3712 × Pp Error = 36,45 p < 0,01	0,4971 ± 0,0013 Esc = -19,6199 + 1,8490 × Pp Error = 8,42 p < 0,01

Tabla 4. Rango de escorrentías superficiales generados en cada localidad en función de la preparación y de la condición previa de humedad del suelo (RB: Rambla Becera; Alt: Altiplano; SA: Sierra Arana; SH: Sierra de Hueter; CM: Con microcuencas, SM: Sin microcuencas; Pp_m: precipitación mínima capaz de generar escorrentías superficiales)

Localidad	Preparación	Pp _m , mm	Volumen de escorrentía generado por Pp _m , litros	
			Suelo seco	Suelo húmedo
RB	CM	6,6	0,01	11,66
	SM	8,4	0,01	5,31
Alt	CM	7,3	0,01	1,56
	SM	10,8	0,01	0,32
SA	CM	13,0	0,01	12,31
	SM	10,4	0,01	0,76
SH	CM	13,4	0,01	36,46
	SM	15,2	0,01	8,43

Las ecuaciones de regresión (Tabla 3) nos permiten realizar un modelo de captación de escorrentías en función del estado previo de humedad del suelo, obteniéndose para cada preparación en cada localidad la precipitación mínima capaz de generar estas escorrentías y el rango de volumen de escorrentía esperado según sea la condición previa de humedad, suelo seco o suelo húmedo (Tabla 4).

En todas las localidades, excepto en el Alt, se observa cómo la construcción de microcuencas, al aumentar el área de impluvio, aporta mayores volúmenes de escorrentía a la banqueta de plantación ($Esc \geq Pp$). En el Alt la generación de escorrentías es mínima con cualquier preparación ($Esc \ll Pp$).

En la Tabla 5 se muestra el estudio de todos los eventos de precipitación registrados en cada localidad, los cuales se han transformado en cantidad de agua real que llega a la banqueta de plantación utilizando las ecuaciones de regresión que aparecían en la Tabla 3.

Los valores de la relación entre el volumen de escorrentía medio y precipitación anual (Tabla 5) se mantienen en valores muy similares para cada año estudiado en todas las localidades lo que nos ha permitido utilizar el valor medio como *coeficiente de transformación* de la precipitación histórica anual de cada localidad en cantidad de agua real que puede llegar a la banqueta de plantación en función de la preparación (Tabla 6). En RB y SH, con cualquier preparación, el aprovechamiento de las escorrentías superficiales supone un au-

mento del agua que llega a la banqueta siendo mayor cuando se construyen microcuencas, en el Alt no se produce incremento significativo con ninguna preparación mientras que en SA este incremento únicamente es significativo en el caso de las preparaciones CM.

Supervivencia de la repoblación de pinos carrascos y encinas

El porcentaje de marras de pino carrasco (Tabla 7) ha sido bajo en todas las localidades, incluso con supervivencias del 100% en RB CM. En RB SM el mayor porcentaje de marras se produce tras los primeros periodos estivales (12% de marras tras el primer verano y 8% en el segundo) estabilizándose la repoblación a partir de entonces. Resultados similares se han obtenido en SH SM donde la repoblación se estabiliza tras el primer verano. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores que han encontrado que la mayor mortalidad de los plantones se produce durante y después del primer verano en campo debido al *shock* post-transplante (Burdett, 1990; Haase y Rose, 1992; Vallejo y Alloza, 1998). En SH CM las marras se han producido antes del período de sequía estival coincidiendo con la época más lluviosa debido, probablemente, a encharcamientos muy puntuales de las banquetas de plantación que se produjeron por no disponer de drenajes laterales que evacuaran estos excesos y que han podido provocar la asfixia de las raíces.

Tabla 5. Aplicación del modelo de generación de escorrentías a cada uno de los eventos de precipitación (n) registrados durante el período de estudio 2000/2003 (Pp anual: precipitación anual en mm; VEsc (SH-SS): rango de volumen de escorrentía esperado entre suelo húmedo y suelo seco en litros; VEsc medio/Pp anual: relación adimensional entre el valor medio de los valores máximos y mínimos de escorrentía esperados y la precipitación anual; CM: con microcuencas; SM: sin microcuencas)

Localidad		2000	2001	2002
RB	n	94	94	99
	Pp anual	246	272	301
	VEsc CM (SH-SS)	583 - 443	844 - 518	852 - 595
	VEsc SM (SH-SS)	408 - 355	453 - 347	503 - 397
	VEsc medio CM / Pp anual	2,0853	2,5036	2,4036
	VEsc medio SM / Pp anual	1,5508	1,4705	1,4950
Alt	n	94	94	99
	Pp anual	246	272	301
	VEsc CM (SH-SS)	299 - 265	333 - 295	365 - 331
	VEsc SM (SH-SS)	251 - 246	278 - 273	308 - 304
	VEsc medio CM / Pp anual	1,1463	1,1544	1,1561
	VEsc medio SM / Pp anual	1,0101	1,0128	1,0166
SA	n	47	52	56
	Pp anual	434	563	561
	VEsc CM (SH-SS)	807 - 721	1048 - 826	1036 - 900
	VEsc SM (SH-SS)	472 - 465	614 - 597	608 - 597
	VEsc medio CM / Pp anual	1,7603	1,6642	1,7254
	VEsc medio SM / Pp anual	1,0794	1,0754	1,0739
SH	n	68	94	99
	Pp anual	602	742	891
	VEsc CM (SH-SS)	2035 - 1489	2867 - 2247	3355 - 2407
	VEsc SM (SH-SS)	872 - 787	1171 - 1070	1406 - 1245
	VEsc medio CM / Pp anual	2,9269	3,4460	3,2334
	VEsc medio SM / Pp anual	1,3779	1,5101	1,4876

Tabla 6. Análisis de la varianza para los valores medios de la relación VEsc medio/Pp anual (relación adimensional entre el valor medio de los valores máximos y mínimos de escorrentía esperados y la precipitación anual) del período de estudio (2000-2003) en cada localidad en función de la preparación (CM: con microcuencas y SM: sin microcuencas) y extrapolación a los valores de Pp_{SH} (Coeficiente de transformación × Precipitación media anual de la serie histórica, mm: 304 mm en RB y Alt; 674 mm en SA y 837 mm en SH). Letras distintas indican diferencias significativas entre pares de medias obtenidas a partir del Test de Tuckey (p < 0,05)

Localidad	Preparación	2000	2001	2002	2003	Media ± ES	Coeficiente de transformación
RB	CM	2,0853	2,5036	2,4036	2,4601	2,36 ± 0,09 c	2,36 × Pp _{SH} = 717 mm
	SM	1,5508	1,4705	1,4905	1,5199	1,51 ± 0,02 b	1,51 × Pp _{SH} = 459 mm
Alt	CM	1,1463	1,1544	1,1561	1,1595	1,15 ± 0,00 a	1,15 × Pp _{SH} = 350 mm
	SM	1,0101	1,0128	1,0166	1,0128	1,01 ± 0,00 a	1,01 × Pp _{SH} = 307 mm
SA	CM	1,7603	1,6642	1,7254	1,6412	1,70 ± 0,02 b	1,70 × Pp _{SH} = 1.146 mm
	SM	1,0794	1,0754	1,0739	1,0639	1,07 ± 0,00 a	1,07 × Pp _{SH} = 721 mm
SH	CM	2,9269	3,4460	3,2334	3,0111	3,15 ± 0,11 d	3,15 × Pp _{SH} = 2.636 mm
	SM	1,3779	1,5101	1,4876	1,4064	1,44 ± 0,03 b	1,44 × Pp _{SH} = 1.205 mm

Tabla 7. Porcentaje de Marras de Pino carrasco (RB: Rambla Becerra; SH: Sierra de Huétor; CM: Con microcuencas; SM: Sin microcuencas; N: número inicial de plántulas en cada parcela)

N = 25	RB		SH	
	CM	SM	CM	SM
Marzo 00	0%	0%	0%	0%
Julio 00	0%	0%	8%	4%
Octubre 00	0%	12%	8%	16%
Marzo 01	0%	12%	8%	16%
Julio 01	0%	12%	8%	16%
Octubre 01	0%	20%	8%	16%
Marzo 02	0%	20%	8%	16%
Julio 02	0%	20%	12%	16%
Octubre 02	0%	20%	12%	16%

Los resultados de la comparación de las curvas de supervivencia para el pino carrasco mediante el Test de Log-Rank al final del período de estudio (octubre 2002) muestran diferencias significativas para el factor preparación en RB ($p = 0,019$) siendo significativamente mayor la supervivencia cuando se construyen microcuencas, no encontrándose diferencias significativas entre preparaciones en SH ($p = 0,062$) ni entre localidades con la misma preparación (SH CM y RB CM: $p = 0,076$; SH SM y RB SM: $p = 0,798$).

En el caso de las encinas (Tabla 8) se observan porcentajes finales de marras elevados ($> 20\%$) en todas las localidades excepto en SA SM. Además la estrategia rebrotadora de la encina provoca que este porcentaje crezca o decrezca según las épocas ya que en el muestreo de primavera, algunas plántulas que en el an-

terior se habían considerado como marras ya que presentaban su parte aérea completamente seca, muestran hojas verdes por lo que no se contabilizan como marras. También se observa el *shock* post-transplante tras el primer verano aunque la repoblación no consigue estabilizarse durante el período de estudio como ocurría en el caso de los pinos carrascos.

Los resultados de la comparación de las curvas de supervivencia mediante el Test de Log-Rank al final del período de estudio (octubre 2002) muestra diferencias significativas para el factor preparación en SA ($p = 0,014$) siendo significativamente mayor la supervivencia cuando no se construyen microcuencas y para el factor localidad en las preparaciones sin microcuencas ($p = 0,007$) destacando la supervivencia obtenida en SA, no encontrándose diferencias significativas

Tabla 8. Porcentaje de Marras de Encina (Alt: Altiplano; SA: Sierra Arana; SH: Sierra de Huétor; CM: Con microcuencas; SM: Sin microcuencas; N: número inicial de plántulas en cada parcela)

N = 50	Alt		SA		SH	
	CM	SM	CM	SM	CM	SM
Marzo 00	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Julio 00	2%	2%	6%	4%	4%	4%
Octubre 00	24%	20%	24%	6%	10%	10%
Marzo 01	30%	26%	26%	4%	28%	16%
Julio 01	26%	14%	28%	4%	24%	18%
Octubre 01	28%	20%	28%	8%	32%	20%
Marzo 02	30%	28%	32%	10%	34%	24%
Julio 02	28%	22%	34%	10%	30%	22%
Octubre 02	32%	34%	36%	10%	34%	24%

entre preparaciones en SH ($p = 0,094$) y en el Alt ($p = 0,9336$) ni entre localidades con microcuencas (Alt CM, SA CM y SH CM: $p = 0,6744$).

Discusión

La posibilidad de recoger las escorrentías superficiales en la banqueta de plantación para aumentar los recursos hídricos en el entorno de la planta está íntimamente ligada a las características edáficas. En zonas con las mismas características climáticas el patrón de generación de escorrentías puede variar en función del tipo de suelo, como ha ocurrido en las cuatro zonas elegidas en este estudio.

Así el perfil de RB presenta un horizonte A, de escasa potencia y muy alterado por las labores agrícolas, con una marcada estructura laminar en superficie que favorece la formación de costras superficiales. Su origen aluvial hace que sean muy frecuentes las discontinuidades litológicas apareciendo una capa de gravas alrededor de los 40 cm que puede condicionar enormemente la dinámica del agua en el suelo (Ingelmo *et al.*, 1994; Fernández-Sanjurjo, 1999). La cobertura vegetal es muy escasa, de tipo pastizal anual sin ningún tipo de cubierta vegetal arbustiva, lo que unido a la estructura laminar y a la ausencia de pedregosidad superficial favorece el impacto directo de las gotas de lluvia que provocan la compactación superficial y la impermeabilización del suelo disminuyendo la capacidad de infiltración y favoreciendo la generación de escorrentías superficiales (Abrahams y Parsons, 1994) que se acumulan en la banqueta de plantación, en mayor cuantía cuando hay microcuencas, lo que provoca la formación de pozas de agua de escorrentía en la banqueta. Este hecho aumenta la infiltración, de forma puntual, al aumentar la presión hidrostática ejercida por la columna de agua y favoreciendo la acumulación de los recursos hídricos en profundidad donde las pérdidas por evaporación serán menores. Cuando no se forman estas pozas porque la cantidad de agua que llega es menor, caso de RB SM, al no ejercer la presión suficiente el agua queda colgada por encima de la capa de gravas que aparece a los 40 cm donde las pérdidas por evaporación serán mayores. Resultados muy similares obtuvieron Iriarte *et al.* (2000) en cultivos de olivar del Sur de la Península Ibérica.

En el perfil del Alt (Calcisol pétrico) destaca la presencia alrededor de los 30 cm de un horizonte petrocál-

cico fuertemente cementado. La presencia de esta costra caliza actúa de barrera mecánica para el desarrollo del sistema radicular de las plántulas, que solo pueden atravesarlo a través de la red de fisuras. La pedregosidad superficial es elevada debido al paso del arado agrícola que ha transpuesto los restos de costra a la superficie y estos fragmentos, tamaño piedra, actúan como manto protector al impacto de las gotas de lluvia impidiendo la compactación superficial lo que incrementa la infiltración al impedir la formación de estructuras laminares (Grant y Struchtemeyer, 1959; Jung, 1960; Seginer *et al.*, 1962; Collinet y Valentin, 1979; Collinet, 1988; Simanton *et al.*, 1984; Espejo *et al.*, 1990) y hace que no sea significativa la generación de escorrentías superficiales. También se observan gran cantidad de estos fragmentos distribuidos de forma aleatoria en el interior del perfil.

En SA se han descrito dos tipos de suelo. En el primero (Calcisol léptico), donde se instalaron las parcelas de plantación de encinas sin microcuencas, abundan los fragmentos gruesos tamaño grava y piedra tanto en el interior del perfil como en superficie, que impiden la formación de estructuras laminares y por tanto la generación de escorrentías superficiales al aumentar la infiltración. En el segundo (Calcisol hipercálcico), donde se instalaron las parcelas de plantación de encinas con microcuencas predomina un horizonte cálcico con pocos fragmentos gruesos distribuidos aleatoriamente en los horizontes superiores con estructura masiva y textura limosa que favorece la formación de estructuras laminares, lo que disminuyen la infiltración y aumentan el volumen de de escorrentías. En este último caso se forman pozas de agua en la banqueta que, al igual que ocurría en RB CM, provocan que se almacenen los recursos hídricos en profundidad.

En SH las parcelas de experimentación están situadas sobre Calcisoles hipercálcicos y Cambisoles hipercálcicos. El primero (parcelas de plantación de pinos con y sin microcuencas y encinas sin microcuencas) tiene las mismas características que el descrito en Sierra Arana y el segundo (parcelas de plantación de encinas con microcuencas) destaca por su gran profundidad, siendo el más potente de todos los estudiados, donde predominan las texturas limosas y arcillosas en los horizontes superficiales con contenidos en gravas muy bajos en todo el perfil. Estas texturas favorecen la impermeabilización del suelo por compactación superficial disminuyendo la capacidad de infiltración y favoreciendo la generación de escorrentías superficiales y al

tratarse de una zona de alta pluviometría la cantidad de escorrentías generadas en esta parcela son las más cuantiosas de todas las estudiadas. También se forman pozas de agua de escorrentía en la banqueta que provocan que los recursos hídricos se almacenen en profundidad.

En cuanto a la respuesta de la repoblación, los resultados obtenidos en RB, con supervivencias del 100% para el pino carrasco, y donde cabía esperar que la estructura del suelo afectara negativamente a las propiedades hídricas del mismo, muestran, cómo la disponibilidad de recursos hídricos en el perfil del suelo puede mitigar la escasez de precipitaciones o sequía atmosférica, al convertir la escorrentía en un factor positivo, de forma que terrenos dominados por costras físicas, producidas por su marcada estructura laminar, que presentan baja infiltración (Moore y Singer, 1990) y que pueden originar escorrentías superficiales (Valentin, 1994) en lugar de reducir considerablemente el agua disponible para las plantas (Maestre *et al.*, 2003), pueden aumentarla, reduciendo la sequía edafológica, cuando se construyen microcuencas.

En el caso de las encinas los resultados de supervivencia, muestran cómo para esta especie los factores edáficos son tan limitantes como los climáticos ya que un aumento de las disponibilidades hídricas en la banqueta de plantación, no se ha traducido en una mayor supervivencia, caso de SA CM y SH CM y SHSM.

Conclusiones

La captación de escorrentías superficiales con microcuencas en zonas mediterráneas secas-semiáridas, caso de Rambla Becerra, puede ser un método eficaz para aumentar los recursos hídricos disponibles, que de otra manera no se aprovechan ya que aquellos suelos que normalmente se han considerado muy problemáticos para ser forestados por su perfil desestructurado, la presencia de costras físicas y la escasa o nula cobertura vegetal que presentan son los que mejor responden a esta técnica.

En suelos con elevada capacidad de infiltración, caso del Altiplano, la generación de escorrentías superficiales y su consiguiente aprovechamiento como riegos ocasionales es muy escasa.

En zonas de mayor pluviometría, caso de Sierra Arana y Sierra de Huétor, el aumento de la cantidad de agua que supone la construcción de microcuencas se

traducirá en un aumento de la disponibilidad de recursos hídricos dependiendo de las características edáficas de cada zona, de forma que tan importante es la cantidad de agua que llega a la banqueta como las propiedades físicas del perfil.

El pino carrasco, durante los primeros años de aclimatación en campo, muestra una gran plasticidad fenotípica como respuesta a distintos condicionantes ecológicos, de forma que en sitios con precipitaciones escasas pero donde la preparación del terreno favorezca el incremento de recursos hídricos en el entorno de la planta, se producen supervivencias incluso mejores que en zonas donde las lluvias son cuantiosas.

Por el contrario las encinas, durante los primeros años de establecimiento en campo, se comportan como especie muy poco plástica de forma que mayores precipitaciones y/o mayor humedad edáfica, no supone ninguna ventaja inicial; más al contrario, unas condiciones ambientales iniciales adecuadas pueden causar respuestas fisiológicas que cuando la situación se vuelva desfavorable, y en zonas mediterráneas seguro que sucede, no sean capaces de mantener.

Referencias bibliográficas

- ABRAHAM A.D., PARSONS A.J., 1994. Hydraulics of interrill overland flow on stone-covered desert surfaces. *Catena* 23, 1110-1140.
- ALCARAZ F., 2002. BIOCLIMA versión 2.2 para PC. Ed. Universidad de Murcia.
- BOCIO I., 2002. Respuesta de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) y del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) a diferentes técnicas de forestación en cultivos agrícolas abandonados. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- BOCIO I., NAVARRO F.B., RIPOLL M.A., JIMÉNEZ M.N., DE SIMÓN E., 2004. Holm oak (*Quercus rotundifolia* Lam.) and Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) response to different soil preparation techniques applied to forestation in abandoned farmland. *Ann For Sci.*, 61, 171-178.
- BOLIN S.B., 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 Zones. Tucson, Arizona. pp. 196-200.
- BURDETT A.N., 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20, 415-427.
- CALVO-CASES A., BOIX-FAYOS C., IMESON A.C., 2003. Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50, 269-291.

- CASTILLO V., MARTÍNEZ-MENA M., ALBALADEJO J., 1997. Validez del método de curva para el cálculo de caudales de escorrentía en áreas mediterráneas semiáridas. II Congreso Forestal Español, Pamplona, pp. 235-240.
- CERDÁ A., 1995. Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos. Monografías Científicas, n.º 5. Geoforma Ediciones. Logroño, 151 pp.
- COLLINET J., 1988. Etude expérimentale de l'érosion hydrique des sols représentatifs de l'Africa de l'Ouest. Presentation des sites experimentaux. Méthode et identification des processus élémentaires. Analyse et comparaison des régimes de ruissellement. Cah. ORSTOM, SER. Pedol. 24, 235-254.
- COLLINET J., VALENTIN C., 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, SER. Pedol. 17, 283-328.
- DE SIMÓN E., 1990. Restauración de la vegetación en cuencas mediterráneas: repoblaciones en zonas áridas. Ecología, Fuera de Serie 1, 401-427.
- DE SIMÓN E., RIPOLL M.A., BOCIO I., NAVARRO F.B., GALLEGO E., 2001. Aprovechamiento de escorrentías superficiales mediante la formación de microcuencas, en repoblaciones de zonas semiáridas. III Congreso Forestal Español, Granada, 3-5 septiembre. Tomo 3, pp. 305-310.
- DE SIMÓN E., BOCIO I., RIPOLL M.A., NAVARRO F.B., JIMÉNEZ, M.N., GALLEGO E., 2004. Microcuencas: una técnica de preparación del suelo en zonas áridas. En: Forestación en paisajes agrarios, Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Granada, pp. 95-118.
- ESPEJO R., BARRAGÁN E., PÉREZ-ÁRIAS J., 1990. El mulch de piedra y la relación suelo-agua en los suelos desarrollados sobre formaciones de ladera. Ecología 4, 15-21.
- FAO-ISRIC., 1998. Base Referencial Mundial del recurso del suelo. FAO. Roma, 91 pp.
- FAO, 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en América latina. Serie: zonas áridas y semiáridas n.º 13. Santiago de Chile, 233 pp.
- 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, pp. 317-346.
- FERNÁNDEZ J., 2003. Dinámica del agua en suelos con gravas. Ed. Universidad de Granada. Granada, 185 pp.
- FERNÁNDEZ-SANJURJO M.J., 1999. Influencia de los fragmentos gruesos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo: antecedentes y estado actual del tema. Edafología 6, 95-107.
- FOX G.A., 1993. Failure-time analysis: emergence, flowering, survivorship, and other waiting times. En: Scheiner, S. M. y Gurevich, J. (Eds.), Design and analysis of ecological experiments. Chapman & Hall, New York.
- FRANCIS C.F., THORNES J.B., ROMERO A., LÓPEZ F., FISHER G. C., 1986. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment. Catena 13, 211-225.
- FUENTES D., VALDECANTOS A., VALLEJO V.R., 2004. Plantación de *Pinus halepensis* Mill y *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. en condiciones mediterráneas secas utilizando microcuencas. Cuad Soc Esp Cien For. 17, 157-161.
- GIL-PELEGRÍN E., ARANDA I., PEGUERO-PINA J.J., VILAGROSA, A., 2005. El continuo suelo-planta-atmósfera como un modelo integrador de la ecofisiología forestal. Invest Agr: Sist Recur For. Vol 14 (3), 358-370.
- GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L., 1999. Suelo, relieve, agua y paisaje. Invest Agr: Sist Recur For. Fuera de Serie 1, 123-134.
- GRANT W.J., STRUCHTEMEYER R.A., 1959. Influence of the coarse fraction in two Maine potato soils on infiltration, runoff and erosion. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23, 391-394.
- HAASE D.L., ROSE R., 1992. Moisture stress and root volume influence transplant shock: preliminary results. En: Ecology and management of Oak and Associated Woodlands. USDA FS Rocky Mountains. For. Res. Exp. Stm. Report RM-218, 201-206.
- INGELMO F., CUADRADO S., IBÁÑEZ A., HERNÁNDEZ J., 1994. Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation. Catena 23, 73-86.
- IRIARTE A., SIMÓN M., GARCÍA I., BARAHONA E., ORTIZ I., 2000. Propiedades hídricas de los suelos de olivar mediante simulación de lluvia. Edafología 7(2), 67-74.
- JOFFRE R., RAMBAL S., DAMESIN C., 1999. Functional attributes in Mediterranean-type ecosystems. En: Puignaire, F. I., Valladares, F. (Eds.), *Handbook of functional plant ecology*. Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 347-380.
- JONSON C.W., GORDON N.D., 1988. Runoff and erosion from rainfall simulator plots on sagebrush rangeland. TRANSACTIONS of the ASAE. 31 (2), 421-427.
- JUNG L., 1960. The influence of the stone cover on runoff and erosion on slate soils. Int. Assoc. Sci. Hydrol. 53, 143-153.
- LÓPEZ-ALONSO R., 2001. Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. Ciencia y Técnica 66, 92-97.
- LUCK S.H., ABRAHAMS A.D., PARSONS A.J., 1986. A simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. Physical Geography 7, 344-356.
- LYONS S.M., 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.
- MAESTRE F.T., CORTINA J., BAUTISTA S., BELLOT J., VALLEJO R., 2003. El papel de la heterogeneidad espacial en la restauración de un ecosistema semiárido degradado II. Factores ambientales condicionantes de la supervivencia. Ecología 17, 25-45.

- MOORE D.C., SINGER M.J., 1990. Crust formation effects of soil erosion processes. *Soil Science Society of American Journal* 60, 1223-1227.
- MUNN D.A., MCLEAN E.O., RAMÍREZ, A., LOGAN T.J., 1973. Effect of soil, cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. *Soil Science Society of American Journal Proc.* 37, 428-431.
- NAVARRO R.M., GÁLVEZ C., CONTRERAS V., DEL CAMPO A., 1998. Protocolo para la caracterización del cultivo de plantas forestales en contenedor. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Junta de Andalucía y E.T.S.I. Agrónomos y de Montes. Córdoba. 77 pp.
- PARSONS A.J., ABRAHAMS A.D., LUK S.G., 1990. Hydraulics of interrill overland flow on a semi-arid hill-slope, Southern Arizona. *J. Hidrol.* 117, 255-273.
- 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.
- PRINZ D., 2001. Water harvesting for afforestation in dry areas. 10th International Conference on Rainwater Catchment Systems. Mannheim, pp. 195-198.
- RIPOLL M.A., 2004. Aprovechamiento de escorrentías superficiales mediante la construcción de microcuencas: aplicación a la forestación en ambientes mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- SEGINER I., MORIN J., SACHORI A., 1962. Runoff and erosion studies in a mountainous terra-rossa region in Israel. *IAHS Bull.* 7, 79-92.
- SIMANTON J.R., RAWITZ F., SHIRELY F.D., 1984. Effects of rock fragments on erosion of semiarid range-land soils. En: NICHOLS J.D., BROWN P.L. y GRANT W.J. (Eds.), *Erosion and productivity of soil containing rock fragments*. Soil Sci. Soc. Am. Special Publ., n.º 13, Madison, Wi, USA, 65-72.
- TENBERGEN B., GÜNSTER A., SCHREIBER K.F., 1995. Harvesting Runoff: The Minicatchment Technique: An Alternative to Irrigated Tree Plantations in Semiarid Regions. *Ambio Vol.* 24 (2), 72-76.
- VALENTÍN C., 1994. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West África. *Catena* 23, 87-98.
- VALLADARES F., 2001. Características mediterráneas de la conversión fotosintética de la luz en biomasa: de órgano a organismo. En: ZAMORA, R. y PUGNAIRE, F. (Eds.), *Ecosistemas Mediterráneos: Análisis funcional*. Simposio de la Sociedad Española de Ecología Terrestre. Granada, 67-93.
- VALLEJO R., ALLOZA J.A., 1998. The restoration of burned lands: The case of eastern Spain. En: MORENO J.M. (Ed.), *Large forest fires*. Backbuys Pub. The Netherlands, 91-108.
- WILCOX B.P., WOOD M.K., TROMBE J.M., 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *Journal of Range Management* 39 (4), 197-206.
- WOOD J.C., WOOD M.K., TROMBLE J.M., 1987. Important factors influencing water infiltration and sediment production on arid lands in New Mexico. *J. Arid Environ.* 12, 111-118.
- YOUNG A., BURNELL R.E., 1972. Prediction of runoff and erosion from natural rainfall using a rainfall simulator. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36 (5), 827-829.