

TASAS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA REGIÓN DE MURCIA

Asunción Romero Díaz⁽¹⁾
José Damián Ruiz Sinoga⁽²⁾
Francisco Belmonte Serrato⁽¹⁾

(1) Departamento de Geografía. Universidad de Murcia

(2) Departamento de Geografía. Universidad de Málaga

RESUMEN

La Región de Murcia, ha sido una de las regiones españolas pioneras en el estudio de los procesos de erosión hídrica. La evaluación de la erosión se ha realizado a distintas escalas, en diferentes litologías, distintos usos del suelo y con diferentes métodos. Todos ellos constituyen un buen muestrario de valores de tasas de erosión. Se constata como la magnitud de las tasas está en función del método utilizado. Las tasas de erosión más elevadas, independientemente del método, se han obtenido sobre margas, elevadas pendientes, suelos desprotegidos por cubiertas vegetales y campos de cultivo abandonados.

Palabras clave: erosión hídrica, tasas de erosión, métodos experimentales, sureste de España.

ABSTRACT

The Region of Murcia, has been one of the pioneering Spanish regions in the study of erosion processes. Erosion assessment was carried out at various scales, different lithologies, land uses and methods. These provide a good sample of values of erosion rates. The magnitude of the erosion rates depends on the method used. The highest erosion rates, regardless of method, have been obtained on marls, steep slopes, unprotected soils by vegetal cover and abandoned fields.

Key word: water erosion, erosion rates, experimental methods, southeastern Spain.

Fecha de recepción: febrero 2010.

Fecha de aceptación: mayo 2011.

I. INTRODUCCIÓN

En los estudios de erosión, el objetivo de obtener tasas de pérdidas de suelo ha sido una constante en la mayoría de las investigaciones realizadas. Con la estimación de la erosión mediante diferentes modelos como el paramétrico de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978), en la mayoría de los casos, las pérdidas pequeñas de suelo estaban sobreestimadas; mientras que en el caso de pérdidas elevadas de suelo las tasas estaban subestimadas (Nearing, 1998). Las versiones modificada o revisada del modelo original, MUSLE y RUSLE (Dissmeyer y Foster, 1985; Renard et al., 1991) tampoco reproducen las pérdidas de suelo reales. De ahí la necesidad de estudiar la erosión de manera experimental en campo, para conseguir valores más acordes con la realidad.

Los primeros estudios sobre evaluación de la erosión mediante técnicas experimentales en España se iniciaron de manera sistemática a principios de los años ochenta del siglo XX (Romero Díaz, 2002), y la Región de Murcia fue una de las pioneras en la instalación de campos experimentales (Francis et al., 1986; Romero Díaz et al., 1988; Albaladejo & Stocking, 1989), por parte de dos grupos de investigación, uno perteneciente al Departamento de Geografía de la Universidad de Murcia y otro al Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) del CSIC.

Desde aquellos primeros estudios, han sido numerosas las investigaciones que se han llevado a cabo, así como las técnicas y métodos empleados, con el objetivo de evaluar las pérdidas de suelo en distintas litologías, usos del suelo y diferentes áreas de la Región de Murcia. En este trabajo se pretenden mostrar los resultados obtenidos por diferentes técnicas y métodos, intentando establecer, en la medida de lo posible, un análisis comparativo. Es evidente que cada método mide procesos distintos y a distintas escalas, por lo que las tasas obtenidas son diferentes; pero todos ellos constituyen un buen muestrario para ofrecer un rango de valores de tasas de erosión y una aproximación a las mismas.

Los datos que aquí se muestran se circunscriben a la Región de Murcia que se sitúa en el sureste de la Península Ibérica y en ella concurren una serie de factores que favorecen los procesos de erosión: (1) erosividad de las lluvias, (2) erosionabilidad de los suelos y (3) acción antrópica.

- (1) La Región de Murcia posee un clima semiárido, con precipitaciones escasas (300 mm de media anual) pero de elevada irregularidad. Junto a periodos de dilatadas sequías, las lluvias de alta intensidad son frecuentes y, en ocasiones, con consecuencias catastróficas debido a las inundaciones que producen. La lucha en la Región de Murcia y en la Cuenca del Segura por disminuir el riesgo de inundaciones y aumentar la protección de los suelos constituyen una constante a lo largo de la historia (Romero Díaz y Maurandi Guirado, 2000). Las políticas de corrección hidrológica y restauración forestal han sido y siguen siendo una prioridad en esta Región. Respecto a la erosividad de las lluvias diversas experiencias en parcelas experimentales han demostrado como unos pocos episodios lluviosos provocan la mayor parte de las pérdidas de suelos por erosión (López Bermúdez et al., 1986; Castillo et al., 1997; Martínez Mena et al., 2001).

- (2) En cuanto a la erosionabilidad de los suelos hay que mencionar que estos están escasamente desarrollados. Desde un punto de vista litológico, en la Región existen numerosas cuencas Neógeno-Cuaternarias (Romero Díaz y López Bermúdez, 2009), con un predominio de margas, arcillas y yesos, materiales que favorecen especialmente la erosión, el desarrollo de cárcavas y paisajes de badlands. Por otro lado, debido a las condiciones climáticas, la Región posee escasa cubierta vegetal en gran parte de su territorio, por lo que sus suelos se encuentran poco protegidos. Han sido numerosos los estudios que han comprobado el papel protector del suelo por la vegetación a nivel mundial, pero en el caso de la Región de Murcia se pueden citar las experiencias llevadas a cabo por López Bermúdez et al., (1984, 1986, 1998); Francis et al., (1986); Fisher et al., (1987); Romero Díaz et al., (1988); Francis y Thornes (1990); Martínez Fernández et al., (1995); Romero Díaz et al., (1995); Gómez Plaza et al., (1998); Castillo et al., (1997); Belmonte Serrato y Romero Díaz (1992, 1998); Belmonte et al., (1999a, 1999b). Otras investigaciones muestran como tras la eliminación de una cubierta vegetal la recuperación de la misma, en algunos casos, es muy lenta y en ocasiones no se llega a producir (Castillo, et al., 1997; Barberá et al., 1997; Albaladejo et al., 1998).
- (3) Finalmente, otro factor muy importante que puede incrementar los procesos erosivos, es la acción del hombre, que mediante usos y prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas y, más recientemente, con el abandono de los campos de cultivo, anteriormente aterrizados, favorece la aceleración de determinados procesos (Sánchez Soriano et al., 2003; Romero Díaz et al., 2007a; Lesschen et al., 2007). En ocasiones los cultivos se encuentran sobre elevadas pendientes como es el caso del Oeste del municipio de Lorca y Norte de Puerto Lumbreras y es aquí donde se dan elevadas pérdidas de suelo (Ortiz Silla et al., 1999). Una práctica habitual en la Región, como es el arado en el sentido de la pendiente, también favorece la erosión. De manera experimental esto se ha constatado en el Campo de El Ardal en donde una de las parcelas labrada en este sentido registró siempre la mayor tasa de erosión (Romero Díaz et al., 1995).

II. MÉTODOS

Las tasas de erosión se han obtenido por diferentes metodologías, adecuadas a las diferentes escalas de estudio:

1. **A escala milimétrica** se han utilizado (i) *clavos de erosión* (Francis, 1985; Romero Díaz et al., 2007b) y (ii) *perfiladores microtopográficos*;
2. **A escala de laderas** los métodos más usados han sido (i) *parcelas de erosión abiertas* (Francis, 1986; Romero Díaz et al., 1988; Cammeraat (2004), (ii) *parcelas de erosión cerradas* (Francis, 1986; López Bermúdez, et al., 1996; Romero Díaz et al., 1998, 1999; Belmonte et al., 2002; Castillo et al., 1997; Albaladejo et al., 2000; Martínez Mena et al., 1999; Boix Fayos et al., 2007; Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008); (iii) *simulaciones de lluvias* (Francis, 1986; Francis y Thornes, 1990; Calvo et al., 1991; Bergkamp et al., 1996; Cerdá, 1997; Martínez Mena et al., 2001, 2002; Fernández Gambín et al., 1996; Albaladejo et al., 2006), (iv) *levantamientos topográficos*

y *transectos geomorfológicos* (Chaparro y Esteve, 1995; Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008; Poesen et al., 1997; Vas Wesemael et al., 2006).

3. **A escala de cuenca** se dispone de los siguientes datos: (i) *aforos de caudales* (Romero Díaz et al., 1988; Martínez Mena et al., 2001; Boix Fayos et al., 2006; Oostwoud Wijdenes et al., (2000); Cammeraat, 2002, 2004); (ii) *batimetrías de embalses* (López Bermúdez y Gutiérrez Escudero, 1982; Romero Díaz et al., 1992; Almorox et al., 1994; Avendaño et al., 1997); (iii) *diques de corrección hidrológica* (Romero Díaz et al., 2007a, 2007b; Romero Díaz, 2008; Castillo et al., 2007; Boix Fayos et al. 2007, 2008; Conesa y García 2007) y (iv) *medidas geométricas y topográficas* de algunas formas de erosión (Poesen et al., 2002; Vandekerckhove et al., 2003; Romero Díaz et al., 2007c, 2009).

Los experimentos de cuantificación de la erosión del suelo se han realizado además en diferentes litologías (margas, margas y yesos, calizas, areniscas, conglomerados, esquistos y filitas) y distintos usos del suelo (campos de cultivo, vegetación seminatural, áreas forestadas y campos abandonados).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Tasas de erosión a escala milimétrica

1.1. Clavos de erosión

Los clavos de erosión en la Región de Murcia se han utilizado con diversos fines: calcular volúmenes de material erosionado en la cabeceras de las cárcavas (Francis, 1985); medir la dinámica de procesos de piping (Romero Díaz et al., 2009); estimar la erosión laminar en pantanos de residuos mineros en la Sierra de Cartagena-La Unión (Moreno Brotons, 2007) (Figura 1); evaluar los sedimentos retenidos en los diques de corrección hidrológica tras cada episodio de lluvia (Romero et al., 2007c); e incluso para comprobar el papel de retención de sedimentos de distintas especies vegetales en laderas.

Algunos de los datos más significativos fueron los obtenidos en 51 diques de la cuenca del río Quípar (Romero Díaz et al., 2007b), en un periodo de seguimiento de tres años (2003-2005). Pese a que mediante la utilización de clavos de erosión, generalmente se obtienen tasas de erosión elevadas, en este caso la tasa obtenida fue tan sólo de 1,37 t/ha/año.

1.2. Perfiladores microtopográficos

El uso de perfiladores microtopográficos ha sido escaso y no se han obtenido datos representativos. Durante algún tiempo en el Campo experimental de El Minglanillo (Rambla Salada) se controló la evolución de una red de surcos de una parcela de almendros de 34 x 100 m (López Bermúdez et al., 2000), pero el propietario de la finca aró el campo, concluyendo así con la experimentación.

Figura 1

CLAVOS DE EROSIÓN/SEDIMENTACIÓN INSTALADOS EN BALSAS DE ESTÉRILES DE MINERÍA EN LA SIERRA MINERA DE CARTAGENA (MURCIA)



2. Tasas de erosión a escala de ladera

Las parcelas de erosión-escorrentía han sido el método más usado para cuantificar las pérdidas de suelo, predominantemente por escorrentía laminar. La tipología de parcelas ha sido muy variada, dependiendo de los objetivos, el área de estudio o la disponibilidad económica de su instalación y mantenimiento (López Bermúdez et al., 1993). En general existen dos tipos fundamentales de parcelas: (1) abiertas y (2) cerradas. La mayor parte de los datos obtenidos en Murcia, corresponden a parcelas cerradas.

2.1. Parcelas abiertas

En parcelas abiertas se instalaron colectores pequeños, similares a los ideados por Gerlach (1967), con el objetivo de conocer la transferencia de sedimentos a lo largo de una ladera. Esta tipología de parcelas tiene la ventaja de que las mediciones pueden prolongarse durante mucho tiempo al no interrumpirse los flujos aguas arriba, cosa que si ocurre en las parcelas cerradas que llegan a agotarse y deben de ser abandonadas transcurrido algún tiempo (Belmonte et al., 2002); no obstante, tienen los inconvenientes de la delimitación de su área vertiente y el desbordamiento de los colectores con precipitaciones intensas. Los primeros colectores de este tipo se instalaron en el área experimental de Rambla de Gracia en 1984 (López Bermúdez et al., 1986), en una ladera de matorral de baja densidad. Las tasas de erosión obtenidas para un periodo de dos años (1985-1986) oscilaron entre 1,8 y 3,2 t/ha/año (Francis, 1985 y Romero Díaz et al., 1988), valores que están acordes con los hallados por otros autores, con el mismo método, en otros lugares de España.

Más recientemente Cammeraat (2002, 2004) durante los años 1996 a 1999 realizó unos estudios con parcelas abiertas en Cañada Hermosa (Cabecera del Guadalentín), obteniendo valores muy bajos de erosión en áreas de matorral y pinar de repoblación sobre calizas (0,08 t/ha de media por evento); por el contrario, en áreas de margas y fondos de valle, donde se acumulan los sedimentos, las tasas sobrepasaron las 30 t/ha.

2.2. Parcelas cerradas

Las parcelas cerradas, aunque también presentan numerosos inconvenientes, son un método muy extendido y pueden suministrar datos de gran interés. Los primeros datos de erosión en parcelas cerradas en la Región de Murcia se deben a Francis (1986) y se corresponden a parcelas de 1 x 3 m instaladas en campos de cultivos abandonados durante 1, 2, 5 y 20 años en Rambla Honda (Cuenca de Mula). Las tasas obtenidas oscilaron entre 0,8 y 5,3 t/ha/año. Las pérdidas de suelo fueron más elevadas en los campos abandonados por menos tiempo y menores en el campo abandonado durante 20 años.

Las experiencias realizadas en El Ardal (López Bermúdez, et al., 1996) sobre un sustrato calizo y con buena cobertura vegetal (figura 2) durante una década (1989-1999) y bajo distintas condiciones ambientales, obtuvieron tasas de erosión bajas. La tasa media de erosión para el periodo 1989-1997 es inferior a 1 t/ha/año (Romero Díaz et al., 1998). No obstante, cuando se analizan los distintos usos del suelo aparecen marcadas diferencias. La instalación de este campo experimental en este medio, no tenía como objetivo obtener elevadas tasas de erosión, sino observar las variaciones existentes entre diferentes usos del suelo, orientaciones y pendientes. Así, en las parcelas cubiertas por matorral fueron en las que se obtuvieron las menores tasas de erosión (0,06-0,22 t/ha/año), seguidas de aquellas otras a las que se les había cortado la vegetación arbustiva, pero que aún mantenían vegetación (0,43-0,94 t/ha/año) o las que se encontraban en abandono (0,01-0,50 t/ha/año). Por el contrario, en las parcelas cultivadas y aradas se obtuvieron tasas más elevadas (0,78-1,20 y 2 t/ha/año). En las parcelas cultivadas de trigo y cebada se registraron altas tasas de erosión, coincidiendo con episodios de lluvias intensas en el momento en el que el suelo estaba más desprotegido (desde mediados del verano hasta el invierno). Destaca la parcela arada en el sentido de la pendiente con una tasa muy elevada respecto al resto (5,92 t/ha/año). Las experiencias realizadas en el Ardal y otras similares con el mismo tipo de parcelas, llevadas a cabo en Is Olias (Italia) y Spata (Grecia) ponen de manifiesto la importancia de los usos del suelo y las repercusiones que los cambios de usos pueden tener en la degradación de los suelos y el incremento de la erosión (Romero Díaz et al., 1999).

Las tasas de erosión obtenidas en el campo experimental de El Minglanillo (Figura 2), sobre margas, son muy superiores. Para el periodo 1997-1999 en cultivos, las tasas fueron de 7,47 t/ha/año, respecto a 0,80 t/ha/año en matorral y 1,12 t/ha/año en abandono. La comparación realizada para los mismos eventos de lluvia y el mismo periodo de estudio por Romero Díaz y Belmonte Serrato (2002) de los dos campos experimentales (Ardal y Minglanillo), muestran la importante influencia de la litología. Para las mismas parcelas López Bermúdez et al., (2000) dan valores para 5 años (1996-2000) comprendidos entre 6 y 15 t/ha/año en cultivos, 0,7 y 1,4 t/ha/año en matorral, y 0,14 y 2 t/ha/año en abandono.

Los resultados obtenidos en las experimentaciones del CEBAS en las parcelas instaladas en Santomera muestran también el contraste existente entre las áreas cubiertas por vegetación y las desprovistas de ella (Figura 2). Después de un seguimiento de 55 meses se observó en la parcela a la que se le había desprovisto de vegetación, una notable pérdida de materia orgánica y un marcado descenso en el porcentaje de agregados estables, la pérdida de suelo aumentó en un 127% en la parcela alterada, lo que se atribuyó al deterioro progresivo de las propiedades físicas del suelo. No se observaron síntomas de recuperación natural de la par-

cela sin vegetación y la tendencia fue a un estado de degradación en el comportamiento del suelo (Castillo et al., 1997 y Albaladejo et al., 1998). Analizando también la distribución de partículas del sedimento, Martínez Mena et al., (1999) observaron como la cubierta vegetal reduce la energía de la lluvia para la erosión en torno al 50% y la escorrentía en torno al 75%, en especial en lluvias de alta intensidad.

Las experiencias con incorporación de residuos sólidos urbanos (RSU) llevadas a cabo desde octubre de 1988 a septiembre de 1993 en la Cuenca de Abanilla (Figura 2) y con diferentes tasas de adición al suelo (6,5, 13,0, 19,5 y 26,0 kg m⁻²), han confirmado la importante reducción de la escorrentía y pérdidas de suelo. Se han mejorado las propiedades físicas de los suelos, aumentado la productividad y, por tanto, protegiendo al suelo frente a la erosión. La parcela control presentó valores muy superiores a aquellas que tuvieron tratamiento, cualquiera que fuese la tasa de adición de RSU. Albaladejo et al., (2000) llegaron a la conclusión de que una tasa entorno a 10 kg/m² podría ser óptima para el control de la escorrentía y la erosión; tasas superiores no son necesarias y podrían incrementar el riesgo de contaminación del suelo.

Figura 2
PARCELAS EXPERIMENTALES DE EL ARDAL (ARRIBA), EL MINGLANIGLO (ABAJO IZQUIERDA)
Y ABANILLA (ABAJO DERECHA)



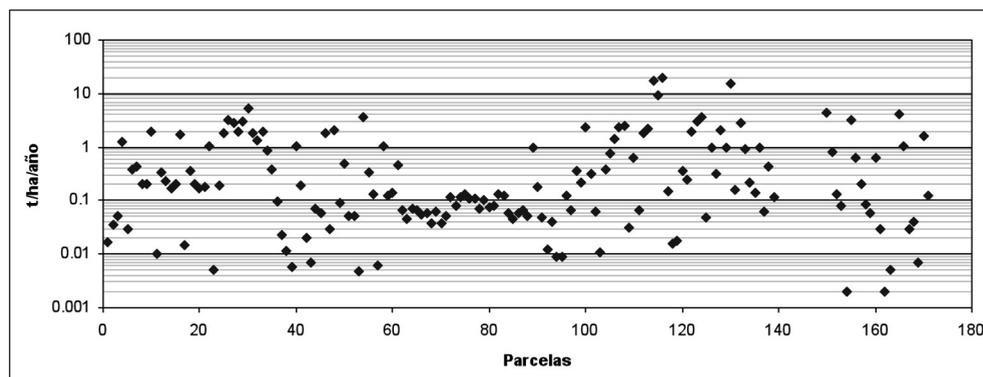
Las investigaciones realizadas en parcelas cerradas de 30 m² en la Sierra del Picarcho (Venta del Olivo) en áreas de matorral quemado y de matorral y pinar, tras 4 años de experiencias, mostraron valores más elevados de producción de sedimentos en el matorral quemado (0,54 t/ha/año) respecto al no quemado (0,03 t/ha/año). En general, las tasas de

erosión, por el tipo de cubierta vegetal existente, fueron bajas y se comprobó la necesidad de que se produzcan precipitaciones de alta intensidad para producir escorrentía y erosión (Boix Fayos et al., 2007). Se mostraron notables diferencias entre las superficies quemadas y las no quemadas. Las escorrentías fueron muy superiores (80-90%) en las áreas quemadas, lo que confirma, de nuevo, el importante papel de la vegetación como factor de protección.

Durante los años 2005-2006, Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008) instalaron en diferentes litologías (margas, conglomerados y esquistos) de la Cuenca del Guadentín, parcelas cerradas de 10 x 2 m. en lugares con cubierta de matorral natural disperso y cercanos a áreas repobladas, con objeto de comparar tasas de erosión entre laderas repobladas y sin repoblar. Las tasas obtenidas fueron muy bajas en todas las parcelas, siendo más elevadas en las margas (1,86 t/ha/año), seguidas de los esquistos (0,11 t/ha/año) y los conglomerados (0,06 t/ha/año). En esta experimentación se puso de manifiesto las diferencias entre litologías y la función protectora que ejerce la cubierta de matorral, aunque esta sea de escasa cobertura y bajo porte.

En definitiva, las numerosas experiencias realizadas en parcelas cerradas ofrecen un rango medio desde erosión inapreciable a valores máximos de 7,5 t/ha/año, excepcionalmente se alcanzan valores superiores a las 10 t/ha/año (Figura 3). Las tasas más elevadas se hallan en litologías de margas, con escasa vegetación, en los primeros años de abandono, en superficies quemadas, en campos de cultivo y, en especial, en los arados en sentido de la pendiente.

Figura 3
TASAS DE EROSIÓN EN PARCELAS CERRADAS DE LA REGIÓN DE MURCIA



Elaborado a partir de Francis (1986), Francis y Thornes (1990), Albaladejo et al., (2000) López Bermúdez et al., (1998), Romero Díaz et al., (1995) y Belmonte et al., 1999b.

2.3. Simulaciones de lluvia

Las simulaciones de lluvia generalmente se han utilizado para estimar la capacidad de infiltración de los suelos, comparar la respuesta hidrológica de diferentes microambientes y analizar el papel específico de los componentes superficiales o factores que controlan la

infiltración del agua en el suelo (Albaladejo et al., 2006) y, en ocasiones, también mediante estos experimentos es posible estimar tasas de erosión. No obstante, las pequeñas superficies en las que se hacen las simulaciones, la gran variabilidad en intensidad y volumen de las precipitaciones y los diferentes tipos de simuladores, hace muy difícil la extrapolación de estos datos. A pesar de ello los valores obtenidos con simulaciones permiten comparar zonas, estaciones del año, usos del suelo, e identificar las áreas más propensas a suministrar gran cantidad de sedimentos.

Existen multitud de tipos de simuladores y de diferente tamaño (Calvo et al., 1988; Cerda, 1999, Cerda, 2010). En la Región de Murcia se han utilizado simuladores de 0,25, 2 y 20 m². Unas de las primeras simulaciones realizadas en España se hicieron en Murcia a principios de los años ochenta del siglo pasado (Francis, 1986; Francis & Thornes, 1990). En los 72 experimentos de Francis (1986) realizados en la Cuenca de Mula, en suelos con distintos años de abandono y en distintas condiciones hidrológicas (húmedo y seco), se obtuvieron tasas relativamente elevadas debido a las altas intensidades de lluvias aplicadas. Los valores medios de tasas de erosión en seco descienden desde 7,7 t/ha/año en campos recientemente abandonados, a 1,6 t/ha/año en campos con 20 años en abandono

Calvo et al., (1991) realizaron diversas simulaciones en los badland el sur y sureste peninsular, y una de las áreas seleccionadas fueron los badland desarrollados en los sedimentos Plio Cuaternarios cerca de Sucina (Campo de Cartagena), mostrando altas tasas de infiltración.

El la cuenca del Guadalentín las simulaciones realizadas por Cerdá (1997) en distintas superficies muestran como los suelos cultivados no generan escorrentía por la elevada macroporosidad, mientras que campos en abandono durante 3 años generaron entre 0,2 y 6,4 t/ha/año. Las tasas descienden cuanto mayor es el tiempo de abandono o existe mayor presencia de cubierta vegetal. Dependiendo del tipo de suelo y cantidad de precipitación, el abandono puede potenciar o reducir los procesos de erosión.

Las simulaciones realizadas por Martínez Mena et al., (2001) en la Cuenca de Abanilla, usando un simulador similar a los utilizados por los autores anteriores (0,24 m²) y bajo matorral disperso, dan valores medios más elevados en las margas miocenas que en los afloramientos del Keuper. Con un simulador de mayores dimensiones (2 m²) en Fuente Librilla, Martínez Mena et al. (2002) en cultivos de limoneros, volvieron a obtener valores más elevados de pérdidas de suelo en las margas terciarias respecto a los coluvios calizos.

Son de mencionar las experiencias realizadas en el campo experimental de El Ardal con un simulador de grandes dimensiones (2 x 10 m). En este caso las simulaciones realizadas, debido a las características litológicas y de cubierta vegetal existentes, hicieron que apenas se registrara escorrentía. Bergkamp et al., (1996) constataron mediante lluvia simulada en El Ardal que el patrón de infiltración está relacionado con la organización de la vegetación en manchas separadas por sectores de suelo desnudo, favoreciendo estos últimos la escorrentía superficial y el encharcamiento, mientras que la vegetación favorece la infiltración.

Con las simulaciones de lluvias las tasas de erosión obtenidas han oscilado entre 0 y 14,36 t/ha/año. Los valores más elevados se han dado en litologías margosas, suelos desprotegidos por la vegetación y en abandono reciente. En general, las simulaciones ofrecen pequeñas tasas de erosión, con la excepción de aquellos casos en los que se apliquen altas intensidades de lluvias.

2.4. Transectos geomorfológicos y perfiles topográficos

El método de los transectos geomorfológicos ha sido utilizado ampliamente en estudios de reconocimientos geomorfológicos, campos abandonados, efectos geomorfológicos de la construcción de carreteras de montaña y efectos de las repoblaciones forestales. Con esta última finalidad se han utilizado en la Región de Murcia. Los transectos geomorfológicos permiten obtener una rápida caracterización de la intensidad de los procesos de erosión y sedimentación en laderas y facilita la comparación entre diferentes laderas (García Ruiz y López Bermúdez, 2009). En los transectos realizados en el sentido contrario a la pendiente (Figura 4), además de observar formas y procesos, se puede realizar una cuantificación de la erosión midiendo y cubicando los surcos que corta cada transecto. A pesar de que con este método se suelen obtener tasas de erosión elevadas, los valores siempre se encuentran por debajo de la realidad, al medir sólo los surcos y no otros tipos de erosión.

En repoblaciones forestales realizadas con terrazas en los años 70 del siglo pasado, Chaparro y Esteve (1995), y Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008) evaluaron las tasas de erosión generadas como consecuencia de estos aterrazamientos en el valle del Guadalentín y en la depresión localizada entre la Sierra de la Cresta del Gallo y Los Villares. Los valores obtenidos por Chaparro y Esteve en margas se sitúan entre las 71 y 93 t/ha/año; mientras que Romero Díaz y Belmonte Serrato obtienen un valor medio de 105 t/ha/año. En conglomerados las tasas de erosión son más bajas, entre 17 y 40 t/ha/año las obtenidas por Chaparro y Esteve, y 63 t/ha/año las calculadas por Romero Díaz y Belmonte Serrato.

Mediante perfiles longitudinales (Figura 4), realizados en el sentido de la pendiente, también se pueden obtener tasas de erosión. Así, en las mismas áreas forestadas y aterrazadas, Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008) utilizan este método. Los valores obtenidos en margas son más bajos que los obtenidos mediante transectos (68 t/ha/año), y por el contrario son más elevados en conglomerados (103 t/ha/año); la causa de esa variación está en que al realizar los perfiles en margas no se incluyen los surcos y cárcavas que si se contabilizan en los transectos. En rocas metamórficas (filitas y esquistos) los valores medios calculados en la Sierra de La Torrecilla se reducen a 29 t/ha/año.

Estas elevadas tasas de erosión en diferentes litologías, ponen de manifiesto los problemas de forestación en ambientes semiáridos, en donde la recolonización de la vegetación es muy difícil. Por otra parte, la agresividad de la técnica de aterrazamiento hace que se reactive la actividad geomorfológica y se incrementen los procesos erosivos, dando como resultado unas elevadísimas tasas de erosión.

Otro tipo de erosión que se ha intentado evaluar mediante perfiles longitudinales es la que se produce por el laboreo. Poesen y colaboradores en la Sierra de La Torrecilla (Cuenca del Guadalentín) han realizado numerosas experiencias en campos de almendros en laderas pendientes sobre un substrato de pizarras y filitas. Estos autores demuestran como el laboreo es responsable del desplazamiento de los suelos, produciéndose una fuerte denudación en las partes convexas de las laderas y un relleno en los fondos de valle (Vas Wesemael et al., 2006).

También comprobaron la influencia del tipo de laboreo, de modo que el laboreo realizado en el sentido de la pendiente producía un desplazamiento de material muy superior al que ocasiona el laboreo siguiendo las curvas de nivel. En un campo de 50 m de largo y con una

pendiente del 20% una pasada de arado moviliza 282 kg/m^1 si se realiza en sentido de la pendiente y tan sólo 139 kg/ m^1 si se hace siguiendo las curvas de nivel. La erosión equivalente si el campo se arara de 3 a 5 veces por año sería de 1,5 a 2,6 mm/año en el último caso y de 3,6 a 5,9 mm/año en el primero (Poesen et al., 1997). Vas Wesemael et al. (2006) calcula una tasa de erosión de 26,6 t/ha/año.

Por otra parte, Quine et al., (1999) estiman las diferencias existentes si las laderas se labran de modo tradicional o se realizan mediante maquinaria pesada. En el primer caso se perderían 200 kg/m^1 por pasada y en el segundo 657 kg/ m^1 por pasada.

Figura 4
MEDICIÓN DE UN TRANSECTO GEOMORFOLÓGICO (IZQUIERDA) Y UN PERFIL TOPOGRÁFICO (DERECHA)



3. Tasas de erosión a escala de cuenca

3.1. Aforos de caudales

A escala de cuenca los estudios en la Región de Murcia se han desarrollado en menor medida. Los primeros se realizaron en pequeñas microcuencas. De 1984 a 1986 datan los llevados a cabo en Rambla de Gracia (Cuenca de Mula) en una superficie de 3.000 m^2 ; y de 1990 a 1993 los realizados en la Cuenca del Río Chícamo en dos pequeñas microcuencas de 328 y 759 m^2 (Color y Abanilla). En Rambla de Gracia las tasas de erosión obtenidas estuvieron comprendidas entre 0,08 y 2,36 t/ha/año (Romero Díaz et al., 1988) y en el segundo entre 0,85 y 2,99 t/ha/año (Martínez Mena et al., 2001).

De 1997 a 2003 corresponden las observaciones en cuencas de mayores superficies (6,4, 7,9 y 24,3 has) localizadas en la Sierra del Picarcho. Las tasas de erosión obtenidas en ellas han sido muy bajas en relación con las microcuencas, oscilando los valores medios entre 0,034, 0,011 y 0,15 t/ha/año (Boix Fayos et al., 2006). Otras observaciones se han realizado en diversos sectores de la Cuenca del Guadalentín por Hooke & Mant (2000), Oostwoud Wijdenes et al., (2000) o Cammeraat (2002, 2004).

Pese a la dificultad del estudio hidrológico de cuencas experimentales en medios semiáridos, debido a la escasez de precipitaciones, se ha demostrado su gran importancia. No obstante, a nivel de cuenca lo importante no es establecer tasas de erosión o exportación del sedimento (García Ruiz y López Bermúdez, 2009), sino entre otras cosas, definir los factores que controlan las escorrentías y erosión frente a las precipitaciones o comprender las variaciones espacio-temporales que se dan en ellas para predecir su respuesta hidrológica.

Las microcuencas, con valores comprendidos entre 0,08-2,99 t/ha/año, ofrecen tasas más elevadas que las cuencas (0,011-0,034 t/ha/año). La disminución de las tasas de erosión al aumentar la superficie de la cuenca ha sido confirmada por otros autores. No obstante, en la Región de Murcia existe otro factor importante a considerar que es la litología, ya que las microcuencas, en general, se han instalado sobre margas y las cuencas sobre calizas, aspecto que influye en la generación de escorrentías y erosión como se ha puesto de manifiesto en las parcelas de erosión.

3.2. Batimetrías de embalses

El uso de las batimetrías de los embalses es otro método para la estimación de tasas de erosión que se ha utilizado en la Cuenca del Segura (en la que se inserta la Región de Murcia). Esta metodología es laboriosa ya que requiere el uso combinado de técnicas fotogramétricas, batimétricas y sedimentológicas, así como el cálculo de diferentes parámetros: granulometría, densidad y composición del sedimento, régimen de explotación y capacidad de retención del embalse (Avendaño et al., 1997). El cálculo del sedimento retenido por una presa constituye la «degradación específica», es decir, la cantidad total de sedimento procedente de la erosión y transporte en una cuenca fluvial, expresado en peso por unidad de superficie y tiempo. Las batimetrías permiten conocer los cambios en la topografía del fondo del embalse y a partir de ello calcular la cantidad de sedimentos depositados. Esta información extrapolada a toda la superficie de la cuenca de drenaje informa de sus tasas de erosión y además, conociendo el ritmo de sedimentación se puede estimar la vida útil de los embalses.

Los coeficientes de retención de sedimentos no son iguales en todos los embalses. Algunos de ellos como el embalse del Cenajo retienen en torno al 98% (Almorox et al., 1994). Gran parte de los embalses de la Cuenca del Segura, situados en la Región de Murcia han perdido más del 30% de su capacidad, ejemplos de ello son los embalses de Valdeinfierno (Figura 4), Puentes y Alfonso XIII. Los factores que intervienen son: la actividad erosiva de la cuenca, la frecuencia de precipitaciones intensas, la edad de construcción del embalse o la superficie de la cuenca.

La Cuenca del Segura posee un amplio muestrario de embalses y es una de las más reguladas de Europa. La fecha de construcción de los primeros embalses data de 1884 (Puentes) y 1897 (Valdeinfierno) (Figura 5). Las superficies de cuenca oscilan desde menos de 100 km² a 1.200 km² y su distribución espacial es muy amplia. En la actualidad el número de embalses construidos en la Cuenca del Segura es de 31, para diversas funciones (regulación, regadíos, abastecimiento, aprovechamiento hidroeléctrico y laminación de avenidas), con una capacidad total de embalse de 1.256 hm³ (Belmonte Serrato, 2007).

Figura 5

EMBALSE DE VALDEINFIERNO ATERRADO DE SEDIMENTOS Y EN LOS QUE HA CRECIDO UNA DENSA VEGETACIÓN



Foto tomada en febrero de 2011.

Pese a las deficiencias que el método batimétrico tiene como: presencia de sedimentos autóctonos en los embalses, tales como la precipitación de carbonatos constatados en los perfiles verticales levantados en el embalse de Puentes (Cobo et al., 1997); errores en las mediciones de las superficies (especialmente en los embalses más antiguos); pérdidas por filtraciones; vaciado parcial por apertura de compuertas de fondo; o gestión del embalse (que recoja las avenidas o no), constituye un buen método para conocer la degradación específica de una cuenca.

Los datos publicados por diferentes autores para los principales embalses de la Cuenca del Segura muestran, en algunos casos, valores diferentes. López Bermúdez y Gutiérrez Escudero (1982) para 8 embalses y con batimetrías realizadas hasta 1976-1977, obtienen un valor medio de 8,3 t/ha/año; Soto (1990) y Romero Díaz et al., (1992), considerando 11 embalses y en algunos casos batimetrías más recientes, obtienen valores medios inferiores, de 4,3 y 4,7 t/ha/año respectivamente; Almorox et al., (1994) para 7 embalses obtiene un valor similar de 4,4 t/ha/año; y finalmente Avendaño et al., (1997) que estudia un periodo más extenso de batimetrías (hasta el año 1994) reduce la tasa a 3,3 t/ha/año.

La variación existente en los sedimentos retenidos en los embalses suele estar relacionada con la superficie y forma del embalse, la gestión del embalse (que retenga o no las avenidas), las características climáticas, topográficas y de usos del suelo, la presencia de cárcavas, etc.

En general, las mayores tasas de erosión aparecen en embalses pequeños, sin duda por efecto de la escala y se admite que existe una relación inversa entre degradación específica y dimensiones de la cuenca. No obstante, Verstraeten et al., (2003) constatan como el tamaño

de la cuenca sólo explica el 17% de la variabilidad del sedimento acumulado en 60 embalses españoles. En los embalses analizados, los valores de erosión obtenidos por Romero Díaz et al., (1992) y Soto (1990) son los que mayor relación tienen con el tamaño de la cuenca ($R^2 = 0.3913$), por el contrario no existe apenas relación si se consideran los valores de López Bermúdez y Gutiérrez Escudero (1982) o los de Avendaño et al., (1997) ($R^2 = 0.0046$). Avendaño et al., (1997), en un estudio realizado para 60 embalses españoles, si que encuentra una muy buena correlación entre la superficie de las cuencas y los aportes anuales de sedimentos, agrupando previamente las cuencas de similares características.

Según Sanz Montero et al., (1998) en el estudio realizado con 12 embalses de la Cuenca del Segura obtiene una degradación específica que oscilaría entre 1,85 y 6,97 t/ha/año y si se elimina el embalse de Fuensanta (el de más degradación específica) los datos oscilarían entre 1,85 y 3,86 t/ha/año. Las causas de la variación en la distribución espacial de los valores no las justifican por razones medioambientales (precipitaciones, usos del suelo, pendiente, geología, etc.) sino que apuntan más a actuaciones humanas (obras públicas, canteras, deforestación, etc.).

Respecto a la comparación de los valores de erosión obtenidos por batimetrías en la Cuenca del Segura con otras cuencas, ésta se encuentra entre las cuencas con valores de degradación específica más elevados (Avendaño et al., 1997).

3.3. Diques de corrección hidrológica

Otro método para la evaluación de la erosión, utilizado recientemente en la Región de Murcia, es mediante los sedimentos retenidos en diques de corrección hidrológica (Figura 6). Como parte de los proyectos de restauración hidrológico forestal la construcción de diques es algo usual y en la cuenca del Segura su número es muy abundante (Romero Díaz, 2008).

Romero Díaz et al., (2007b) estudiaron 425 diques en la cuenca del río Quípar (814 km²) y en 195 de ellos, que no estaban colmatados, calcularon la tasa de erosión, teniendo en cuenta la cantidad de sedimento acumulado, la superficie de la cuenca y la fecha de construcción de los diques. Este es un método relativamente sencillo y eficaz para estimar tasas de erosión en cuencas, aunque para que sea válido consideramos que, se ha disponer de registros de datos suficientemente largos en el tiempo y los diques deben de estar distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la cuenca (Romero Díaz et al., 2007b).

La tasa media de erosión obtenida para el conjunto de la cuenca del Quípar fue de 3,95 t/ha/año, pero con una variabilidad muy alta (rango comprendido entre 0,03 y 72,47 t/ha/año). Más de la mitad de los diques tienen una tasa de erosión muy baja (menor de 1 t/ha/año); el 30% tienen una tasa entre 1 y 5 t/ha/año; y en el 8% de los diques el valor fue superior a 10 t/ha/año.

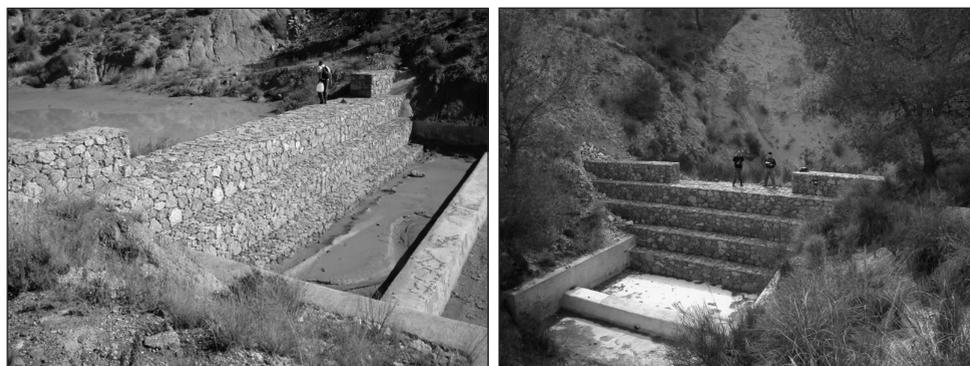
De los 195 diques, 146 se construyeron en 1962 y 49 en 1996. De los construidos en la primera época, 36 se recrecieron en 1996 por encontrarse aterrados. Es de mencionar como los diques recrecidos o construidos nuevos en 1996 presentan tasas de erosión superiores, razón que se atribuye especialmente a que la mayor parte de los nuevos diques se construyeron en áreas con un elevado predominio de margas, por lo que la litología, de nuevo, se manifiesta como un factor determinante en relación con las tasas de erosión (Romero Díaz, 2008).

Otros autores, en cuencas más pequeñas (Cárcavo, Rogativa y Torrecilla), también han realizado estudios sobre la función de los diques. Así, Castillo et al., (2007) estudian

la efectividad e impactos geomorfológicos de los diques en el control de la erosión en la Cuenca del Cárcavo (pequeña cuenca vecina de la Cuenca del Quípar) de 27,3 km² en la que se han analizado 32 diques; Conesa y García Lorenzo (2007), se centran en el papel que los diques ejercen en la dinámica hidrológica de la Rambla de la Torrecilla (Cuenca del Guadalentín) de 14,7 km² en donde se han construido 30 diques; y Boix Fayos et al., (2007, 2008) y Castillo et al., (2009) la efectividad de los proyectos de restauración hidrológico forestal en el control de la erosión, en relación con los cambios de usos del suelo en la cuenca de la Rogativa (cara norte de la Sierra de Revolcadores) de 47 km² y con 58 diques construidos.

El estudio realizado en la Cuenca de la Rogativa, muestra como la eficiencia de los diques se reduce con el tiempo y conforme aumenta la cobertura vegetal de la cuenca. También se pone de manifiesto como parte de los sedimentos retenidos en los diques puede provenir de la erosión inducida aguas abajo de los diques o por los movimientos de tierra durante su construcción. Este hecho también se había constatado en el estudio realizado en la cuenca del río Quípar (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2009) y en la del Cárcavo (Castillo et al., 2007). La tasa media de erosión calculada a partir de los sedimentos contenidos en los diques de la cuenca de la Rogativa es de 5,39 (Boix Fayos et al., 2008) y como en el caso de la Cuenca del Quípar también con alta variabilidad (rango comprendido entre 0,25 y 107,33 t/ha/año). La tasa media más elevada en La Rogativa respecto al Quípar puede estar, entre otras causas, en que en La Rogativa se estimaron también las tasas de los diques que se encontraban aterrados y en el Quípar las tasas sólo se calcularon de los diques que aún permanecían funcionales.

Figura 6
DIQUES DE CORRECCIÓN HIDROLÓGICA EN LA CUENCA DEL RÍO QUÍPAR



Es de mencionar como los valores de las batimetrías son muy similares a los obtenidos mediante los diques de corrección hidrológica, aunque en el caso de los diques se evalúan pequeñas cuencas vertientes a ellos y en el de las batimetrías la superficie completa de la cuenca.

3.4. Medidas geométricas y topográficas

Otro modo de realizar estimaciones de tasas de erosión, en especial en áreas de cárcavas y piping es mediante medidas directas en campo, levantamientos topográficos, fotografías verticales (Figura 7) y, en ocasiones, complementadas con imágenes aéreas convencionales.

Figura 7
IMAGEN VERTICAL DE UN PIPE PARA MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO DE SU EVOLUCIÓN



Poesen et al., (2002) reportan datos obtenidos en 2006 en la cuenca del Guadalentín en áreas de surcos y cárcavas y estiman tasas de 36,6 y 37,6 t/ha/año; Oostwood Wijdenes et al., (2000) en otro estudio realizado entre 1997-1998 en 458 cabeceras de cárcavas en la Rambla Salada (Cuenca del Guadalentín) obtienen tasas de 1,2 t/ha/año; y Vandekerckhove et al., (2003) también en la cuenca del Guadalentín estudiaron 12 cárcavas durante un periodo de 40-43 años a partir de fotografías aéreas y obtuvieron un valor mayor de retroceso de las cárcavas (17,4 m³/año). Se pone así de manifiesto la importancia de obtener tasas de erosión a medio plazo, que sin duda son más fiables.

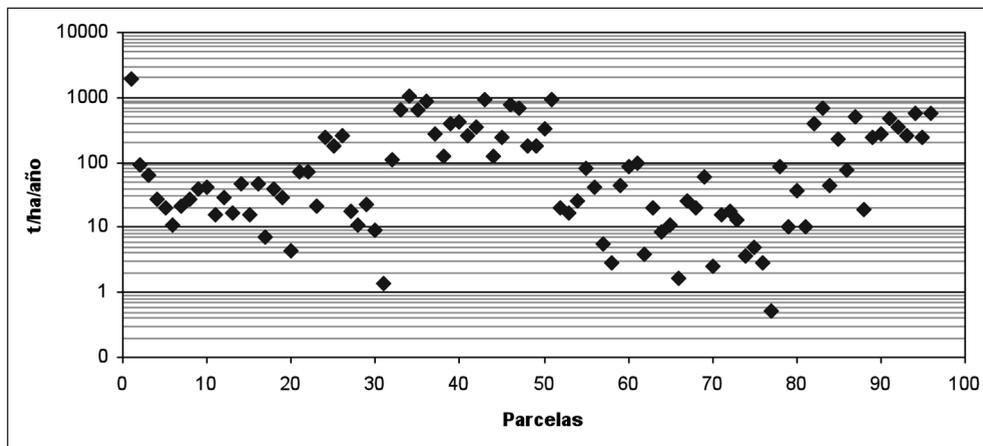
Romero Díaz et al., (2009) estimaron el volumen de suelo perdido en un área muy afectada por procesos de piping en Campos del Río (Cuenca de Mula) (Figura 8). De las 122 parcelas analizadas 96 mostraron procesos de *piping*. La superficie total de las parcelas afectadas es de 166.417 m², con una superficie media por parcela de 1.983 m². La extensión media de *piping* por parcela es del 35%, aunque existen parcelas con un 90%. El suelo total desplazado ha sido de 57.858 toneladas. Suponiendo un periodo de abandono de estos campos de 40 años (aunque en algunos casos es menor), la tasa de erosión media por parcela es de 287 t/ha/año y de 120 t/ha/año si se calcula la media entre las distintas zonas analizadas. El 34% de las parcelas presenta tasas de erosión superiores a 100 t/ha/año (Figura 9). Este valor es muy elevado, mayor que las tasas obtenidas en cárcavas, pero inferior al reportado por García Ruiz y López Bermúdez (2009) de 550 t/ha/año en otras áreas de piping en España.

Figura 8
CAMPO DE CULTIVO ABANDONADO AFECTADO POR PROCESOS DE PIPING (CAMPOS DEL RÍO, MURCIA)



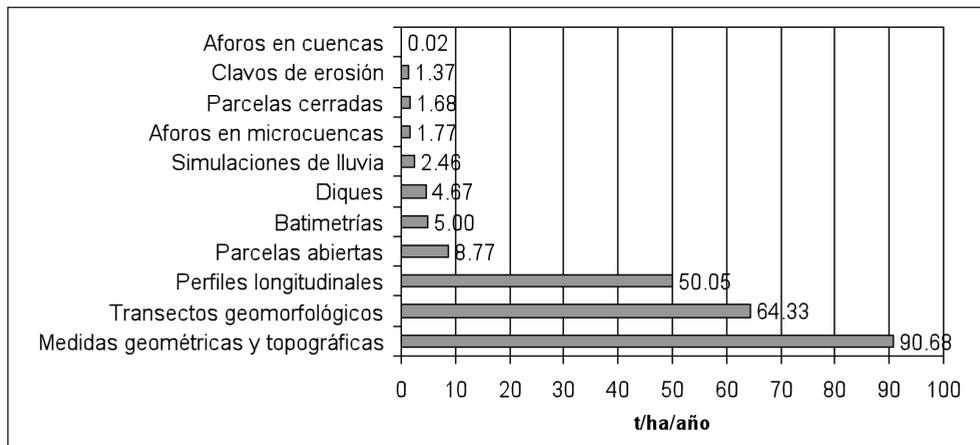
Sin duda, aunque los volúmenes de suelo perdido y las tasas de erosión alcanzan valores muy elevados, son inferiores a la realidad, debido a que la medición completa de los conductos que comunican los *pipes* en profundidad es imposible de realizar.

Figura 9
TASAS DE EROSIÓN EN 96 PARCELAS DE CULTIVO ABANDONADAS Y AFECTADAS POR PIPING EN CAMPOS DEL RÍO (MURCIA)



Estos métodos, debido a la evolución y desarrollo de los procesos medidos, son los que dan como resultado los valores de tasas de erosión más elevados, siendo en cárcavas de hasta 37,6 t/ha/año y en áreas con pipping se elevan a 287 t/ha/año (Figura 10).

Figura 10
TASAS DE EROSIÓN OBTENIDAS POR DIFERENTES MÉTODOS EN LA REGIÓN DE MURCIA



IV. CONCLUSIONES

Es de destacar las numerosas experiencias llevadas a cabo en la Región de Murcia para el estudio de procesos de erosión, no sólo por parte del área de Geografía Física de la Universidad de Murcia o del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura del CSIC, como también de otros investigadores tanto nacionales como extranjeros.

Los métodos utilizados para la evaluación de tasas de erosión han sido muy diversos y a distintas escalas, según los procesos específicos que se han pretendido estudiar y cuantificar. Por este hecho los resultados obtenidos también lo han sido. Ninguno de los valores resultantes puede considerarse como absolutos, no obstante, aportan órdenes de magnitud bajo diferentes condiciones ambientales.

Las variaciones en las tasas de erosión obtenidas están en función de los métodos de estudio. Las tasas *más pequeñas*, en general, se han obtenido con simulaciones de lluvias, parcelas abiertas, algunas tipologías de parcelas cerradas, microcuencas y cuencas; *tasas medias* son el resultado de la evaluación en algunos tipos de parcelas cerradas (de cultivo, sin cobertura vegetal y sobre litologías fácilmente erosionables), diques y batimetrías de embalses; y las *tasas más elevadas* se han obtenido de la cuantificación de la erosión mediante transectos geomorfológicos, perfiles longitudinales y parámetros geométricos y topográficos. Los métodos con los que se obtienen las mayores tasas de erosión son los que se utilizan habitualmente para cuantificar las áreas con mayor erosión, en especial aquellas con erosión concentrada: surcos, cárcavas o pipes.

En general, las tasas de erosión en la Región de Murcia, son inferiores a $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, a excepción de las áreas de badlands, piping, sectores muy alterados, con usos y manejos poco adecuados o puntualmente debidas a eventos extraordinarios de precipitación. En estos casos los valores pueden elevarse a más de $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ e incluso superar las $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Con independencia del método utilizado, las tasas más elevadas de erosión, se han obtenido sobre margas, elevadas pendientes, suelos desprotegidos por cubiertas vegetales y campos de cultivo abandonados. En ambientes semiáridos, como es el caso de la Región de Murcia, el matorral puede desempeñar un papel protector tan eficaz o más que el bosque.

No es aconsejable extrapolar tasas de erosión obtenidas desde parcelas a cuencas, debido a las diferentes formas en las que se produce la conectividad de los flujos y sedimentos. Existen multitud de factores que intervienen en la pérdida de suelo y también hay que tener en cuenta el periodo de medición. Las series de observación deberían ser largas, cosa que en ocasiones no es posible, por lo que la comparación de datos, aunque sea con un mismo método, no siempre es válida.

Los resultados obtenidos de tasas de erosión por métodos experimentales en la Región de Murcia cuestionan las tasas de erosión estimadas mediante ecuaciones como la USLE que, para nuestro territorio, sobreestiman las tasas de erosión en áreas de escasa erosión (con escorrentía laminar) y, por el contrario, subestiman la erosión en áreas de intensa erosión (con predominio de erosión concentrada).

V. REFERENCIAS

- ALBALADEJO, J., STOKING, M.A. (1989): Comparative evaluation of two models in predicting storm soil loss from erosion plots in semi-arid Spain. *Catena*, 16, 227-236.
- ALBALADEJO, J. MARTÍNEZ MENA, M., ROLDÁN, A., CASTILLO, V. (1998): Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use and Management* 14, 1-5.
- ALBALADEJO, J., CASTILLO, V., DÍAZ, E. (2000): Soil loss and runoff on semiarid lands amended with urban solid refuse. *Land Degradation and Development* 11, 363-373.
- ALBALADEJO, J., BOIX-FAYOS, C., MARTÍNEZ MENA, M. (2006): La erosión hídrica en la Región de Murcia. In Conesa García, C. (ed.) *El Medio Físico de la Región de Murcia*, 219-244.
- ALMOROX, J., DE ANTONIO, R., SAA, A., DÍAZ, M.C., GASCÓ, J.M. (1994): Métodos de estimación de la erosión hídrica. Editorial Agrícola Española, Madrid.
- AVENDAÑO, C., COBO, R. (1997): Metodología para estimar la erosión de cuencas fluviales a partir de la batimetría de embalses. In: Ibáñez, J.J., Valero Garcés B.L. & Machado, C. (eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*. Geoforma Ediciones, Logroño, 239-258.
- AVENDAÑO, C., COBO, R., GÓMEZ, J.L., SANZ MONTERO, E., (1997): Capacity situation in spanish reservoirs. *19ème Congrès des Grands Barajés*, Florencia, 849-861.
- BARBERÁ, G.G., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., ROMERO DÍAZ, A. (1997): Cambios del uso del suelo y desertificación en el mediterráneo: el caso del Sureste Ibérico. *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos*. García Ruiz, J.M. & López García, P. (eds). Instituto Pirenaico de Ecología, C.S.I.C, Zaragoza, 9-39.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A. (1992): Evaluación de la capacidad de interceptación de la lluvia por la vegetación y su relación con la erosión de los suelos en el Sureste semiárido español. Primeros resultados. *Estudios de Geomorfología en*

- España. In: López Bermúdez, F., Conesa García, C. & Romero Díaz, A. (eds.), SEG y Universidad de Murcia, 33-43.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A. (1998): *Interceptación en algunas especies del matorral mediterráneo*. Colección Cuadernos de Ecología y Medio Ambiente nº 7, Universidad de Murcia, Murcia.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO-DÍAZ, A., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F., HERNÁNDEZ LAGUNA, E. (1999a): Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía* 30, 5-15.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1999b). Efectos sobre la cubierta vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo, de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales. *Investigaciones Geográficas*, 22, 95-107.
- BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., DELGADO INIESTA, M.J. (2002): Changes in the physical and chemical properties of the soil in confined erosion plots (Murcia, Spain). In: Rubio, L., Morgan, R.P.C., Asins, S. & Andreu, V. (eds.) *Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the Third Millennium*. Geofoma Ediciones, Logroño, 1459 -1470.
- BELMONTE SERRATO, F. (2007): Los cursos de aguas superficiales. In Romero Díaz, A. & Alonso Sarría, F. (Cords.) *Atlas Global de la Región de Murcia*. La Verdad – CMM S.A., pp. 200-209.
- BERGKAMP, G., CAMMERAAT, E., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1996): Water movement and vegetation patterns on shrublands and abandoned fields in desertification threatened areas. *Earth Surface Processes and Landforms* 21, 1073-1090.
- BOIX-FAYOS, C., MARTÍNEZ-MENA, M., CALVO CASES, A., ARNAU ROSALÉN, E., CASTILLO, V., ALBALADEJO, J. (2005): Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante y Murcia): erosion rates and progress of knowledge in the last two decades. *Land degradation and Development* 16: 517-528.
- BOIX-FAYOS C., MARTÍNEZ-MENA M., ARNAU-ROSALÉN E., CALVO-CASES A., CASTILLO V., ALBALADEJO J. (2006): Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews* 78: 267-285.
- BOIX-FAYOS, C. MARTÍNEZ-MENA, M., CALVO CASES, A., ARNAU ROSALÉN, E., ALBALADEJO, J., CASTILLO, V. (2007): Causes and underlying processes of measurement variability in field erosion plots in Mediterranean conditions. *Earth Surf. Process. Landforms* 32: 85-101.
- BOIX-FAYOS, C. DE VENTE, J., MARTÍNEZ-MENA, M., BARBERÁ, G. (2008): The impact of land use change and check-dams on catchment sediment yield. *Hydrological Processes* 22, 4922-4935.
- CALVO, A., GISBERT, B., PALAU, E., ROMERO, M. (1988): Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. In Sala, M. & Gallart, G. (eds.) *Métodos y técnicas para la medición de procesos geomorfológicos*. S. E. G. Monografía 1, 6-15.
- CALVO, A., HARVEY, A.M., PAYÀ, J., ALEXANDER, R.W. (1991): Response of badland surfaces in South East Spain to simulated rainfall. *Cuaternario y Geomorfología* 5, 3-14.
- CAMMERAAT, L.H. (2002): A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surf. Process. Landforms* 27, 1201-1222.

- CAMMERAAT, L.H. (2004): Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 317-332.
- CASTILLO, V.M., MARTÍNEZ-MENA, M., ALBADALEJO, J. (1997): Runoff and soil loss response to vegetation renewal in semiarid environments. *Soil Science Society of America Journal* 61(4), 1116-1121.
- CASTILLO, V.M., MOSCH, W.M., CONESA, C., BARBERÁ, G.G., NAVARRO, J.A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2007): Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain). *Catena* 70, 416-427.
- CASTILLO, V.M., BOIX FAYOS, C., DE VENTE, J., MARTÍNEZ MENA, M., BARBERÁ, G.G. (2009): Efectividad de los proyectos de restauración hidrológico forestal para el control de la erosión en cuencas mediterráneas. In: Romero Díaz, A., Belmonte, F., Alonso, F. & López Bermúdez, F. (eds.) *Advances in Studies on Desertification*. Edtium, Murcia, 199-2002.
- CERDÁ, A. (1997): Soil erosion after land abandonment in a semiarid environment of Southeastern Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11, 163-176.
- CERDÁ, A. (1999): Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos de Investigación Geográfica* XXV, 45-84.
- CERDÁ, A. (2001): La erosión del suelo y sus tasas en España. *Ecosistemas* 10 (3), 1-16.
- CERDÁ, A., JORDÁN, A. (Ed.) (2010): Actualización de métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. Universidad de Valencia, Valencia.
- CHAPARRO, J. & ESTEVE, M.A. (1995): Evolución geomorfológica de laderas repobladas mediante aterrazamientos en ambientes semiáridos (Murcia, SE de España). *Cuaternario y Geomorfología* 9(1-2), 39-49.
- COBO, R., SANZ MONTERO, M.E., GÓMEZ, J.L., AVENDAÑO, C., PLATA, A. (1997): Influence of the Puentes reservoir operation procedure on the sediment accumulation rate between 1954-1994. In *Nineteenth-Congress on Large Dams*, Question 74. R. 52, 835-847.
- CONESA GARCÍA, C., GARCÍA LORENZO, R. (2007): *Erosión y diques de retención en la Cuenca Mediterránea*. IEA, Murcia.
- DISSMEYER, G.E., FOSTER, G.R. (1985): Modifying the universal soil loss equation for forest land. En S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, & A. Lo (Eds.) *Soil erosion and conservation*. Soil Conservation Society of America, 480-495. Iowa.
- FERNÁNDEZ GAMBÍN, I., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. ALONSO SARRIA, F., LE GOUE, P. (1996): Comportamiento hídrico, modificación micromorfológica y erosión del suelo en los badlands de rambla Salada (Murcia), bajo la acción de lluvias simuladas. *Papeles de Geografía*, 23-24, 127-145.
- FISHER, G., ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., THORNES, J.B., FRANCIS, C. (1987): La producción de biomasa y sus efectos en los procesos erosivos en un ecosistema mediterráneo semiárido del Sureste de España. *Anales de Biología* 12 (3), 91-102.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et Erosion*. Presses Universitaires de France, Paris.
- FRANCIS, C. (1985): Hydrological investigation of soils in relation to gully head development in South East Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica* X, 55-63.

- FRANCIS, C. (1986): Soil erosion on fallow fields: an example from Murcia. *Papeles de Geografía Física* 11, 21-28.
- FRANCIS, C., THORNES, J.B., ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., FISHER, G.C. (1986): Topographic control of soil moisture, vegetation cover and degradation in a moisture-stressed Mediterranean Environment. *Catena* 13 (2), 211-255.
- FRANCIS, C., THORNES, J.B. (1990): Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. En J.B. Thornes (Ed.) *Vegetation and Erosion*. Processes and Environments. John Wiley & Sons, Chichester, 363-384.
- GARCÍA RUIZ, J.M., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2009): *La erosión del suelo en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.
- GERLACH, T. (1967): Hillslope troughs for measuring sediment movement. *Revue de Géomorphologie Dynamique* 17: 173-174.
- GÓMEZ PLAZA, A., CASTILLO, V.M., ALBALADEJO, J. (1998): Estudio de procesos hidrológicos a diferentes escalas (marco teórico y propuesta metodológica). *NORBA Revista de Geografía* X: 81-93.
- HOOKE, J.M., MANT, J.M. (2000): Geomorphological impact of a flood event on ephemeral channels in SE Spain. *Geomorphology* 34,163-180.
- LESSCHEN, J.P., KOK, K., VERBURG, P.H., CAMMERAAT, L.H. (2007): Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. *Catena* 71, 110-121.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., GUTIÉRREZ ESCUDERO, D. (1982): Estimación de la erosión y aterramientos de embalses en la Cuenca hidrográfica del río Segura. *Cuadernos de Investigación Geográfica* VIII (1), 3-18.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., THORNES, J.B., ROMERO DÍAZ, A., FISHER, G. & FRANCIS, C. (1984) Erosión y Ecología en la España semiárida (Cuenca de Mula. Murcia). *Cuadernos de Investigación Geográfica* X (1 y 2), 113-126.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., THORNES, J.B., ROMERO DÍAZ, A., FRANCIS, C., FISHER, G. (1986): Vegetation-Erosion relationships: Cuenca de Mula, Murcia. Spain En *Estudios sobre Geomorfología del sur de España*. F. López Bermúdez & J.B. Thornes (eds.), Universidad de Murcia, Murcia, 101-104.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., GARCÍA RUIZ, J.M., ROMERO DÍAZ, A., RUIZ FLAÑO, P., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., LASANTA, T. (1993): *Medidas de flujos de agua y sedimentos en parcelas experimentales*. Cuadernos Técnicos de la SEG, nº 6, Geofoma Ediciones, Logroño.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., ROMERO DÍAZ, A., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1996): The Ardal Field Site: Soil and Vegetation Cover. In: Brandt, J. & Thornes, J. (eds). *Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS)*. John Wiley & Sons, Chichester, 169-188.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., ROMERO DÍAZ, A., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1998): Vegetation and soil erosion under semi-arid Mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain). *Geomorphology* 24, 51-58.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., CONESA GARCÍA, C., ALONSO SARRÍA, F., BELMONTE SERRATO, F. (2000): La cuenca experimental de Rambla Salada (Murcia). Investigaciones hidrogeomorfológicas. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 26, 95-112.

- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., ROMERO DÍAZ, A. (1995): Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystems: El Ardal, Murcia, Spain. In: J. Poesen, G. Govers & D. Goossens (Eds.) Special Issue *Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Changes*, *Catena* 25 (1-4), 153-167.
- MARTÍNEZ-MENA, M., ÁLVAREZ ROGEL, J., ALBALADEJO, J., CASTILLO, V., (1999): Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. *Catena* 38, 175-190.
- MARTÍNEZ-MENA, M., CASTILLO, V., ALBALADEJO, J. (2001): Hydrological and erosional response to natural rainfall in a semi-arid area of SE Spain. *Hydrological Processes* 15, 557-571.
- MARTÍNEZ-MENA, M., CASTILLO, V., ALBALADEJO, J. (2002): Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology* 45, 261-275.
- MMA (2002) *Inventario nacional de erosión de suelos 2002-2012, Región de Murcia*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, MMA, Madrid.
- MORENO BROTONS, J. (2007): Erosión eólica e hídrica en estériles de minería en el campo de Cartagena. PFC Ciencias Ambientales. Murcia (inédito).
- NEARING, M.A. (1998): Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. *Catena* 32:15-22.
- OOSTWOUW WIJDENES, D.J., POESEN, J., VANDEKERCKHOVE, L., GHESQUIERE, M. (2000): Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena* 39, 147-167.
- ORTIZ, R., ALBALADEJO, J., MARTÍNEZ MENA, M., GUILLÉN, F., ÁLVAREZ, J. (1999): Erosión hídrica en zonas agrícolas. In *Atlas del medio Natural de la Región de Murcia*. ITGE y Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, CARM, 53-59.
- POESEN, J., VAN WESEMAEL, B., GOVERS, G., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., DESMET, P., VANDAELE, K., QUINE, T., DEGRAER, G. (1997): Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion. *Geomorphology* 18, 183-197.
- POESEN, J., VANDEKERCKHOVE, L., NACHTERGAELE, J., OOSTWOUW WIJDENES, D., VERSTRAETEN, G., VAN WESEMAEL, B. (2002): Gully erosion in dryland environments. In: Bull, L.J. & Kirkby, M.J. (eds.) *Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels*. John Wiley & Sons, Chichester, 229-262.
- QUINE, T., GOVERS, G., POESEN, J., WALLING, D., VAN WESEMAEL, B., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. (1999): Fine-erth translocation by tillage in stony soils in the Guadalentín, south-east Spain:an investigation using caesium-134. *Soil and Tillage research* 51, 279-301.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., PORTER, J.P. (1991): RUSLE: Revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* 46:30-33.
- ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., THORNES, J.B., FRANCIS, C., 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.
- ROMERO DÍAZ, M.A., CABEZAS, F., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1992): Erosion and fluvial sedimentation in the River Segura basin (Spain). *Catena* 19, 379-392.

- ROMERO DÍAZ, A., BARBERÁ, G.G., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1995): Relaciones entre erosión del suelo, precipitación y cubierta vegetal en un medio semiárido del sureste de la península Ibérica. *Lurralde* 18, 229- 242.
- ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., BELMONTE SERRATO, F. (1998): Erosión y escorrentía en el campo experimental de «El Ardal» (Murcia). Nueve años de experiencias. *Papeles de Geografía* 27, 115-130.
- ROMERO DÍAZ, CAMMERAAT, L.H., VACCA, A., KOSMAS, C. (1999): Soil erosion at experimental sites in three Mediterranean countries: Italy, Greece and Spain. *Earth Surface Processes Landforms* 24, 1243-1256.
- ROMERO DÍAZ, A., MAURANDI GUIRADO, A. (2000): Las inundaciones en la Cuenca del Segura en las dos últimas décadas del siglo XX. Actuaciones de prevención. *Serie Geográfica* 9, 93-120.
- ROMERO DÍAZ, A. (2002): *La erosión en la Región de Murcia*. Universidad de Murcia, Murcia.
- ROMERO DÍAZ, A., BELMONTE SERRATO, F. (2002): Erosión del suelo en ambiente semiárido extremo bajo diferentes tipos de litologías y suelos. In: Pérez González, A., Vagas, J. & Machado, M.J. (eds.) *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología Nº I, Madrid, 315-322.
- ROMERO DÍAZ, A., MARÍN SANLEANDRO, P., SÁNCHEZ SORIANO, A., BELMONTE SERRATO, F., FAULKNER, H. (2007a): The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena* 69, 282-293.
- ROMERO DÍAZ, A., MARTÍNEZ LLORIS, M., ALONSO SARRIÁ, F., BELMONTE SERRATO, F., MARÍN SANLEANDRO, P., ORTIZ SILLA, R., RODRÍGUEZ ESTRELLA, T., SÁNCHEZ TORIBIO, M.I. (2007b): *Los diques de corrección hidrológica. Cuenca del Río Quípar (Sureste de España)*. Editum, Universidad de Murcia.
- ROMERO DÍAZ, A., ALONSO SARRIÁ, F., MARTÍNEZ LLORIS, M. (2007c): Erosion rates obtained from check-dam sedimentation (SE Spain). A multi-method comparison. *Catena* 71, 172-178.
- ROMERO DÍAZ, A. (2008) Los diques de corrección hidrológica como instrumentos de cuantificación de la erosión. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 34, 83-99.
- ROMERO DÍAZ, A., BELMONTE SERRATO, F. (2008): *Erosión en forestaciones aterrazadas en medios semiáridos: Región de Murcia*. Editum, Universidad de Murcia.
- ROMERO DÍAZ, A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2009): *Soil erosion and desertification in neogene-quaternary basins of the Region of Murcia*. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua (IEA), Murcia.
- ROMERO DÍAZ, A., BELMONTE SERRATO, F. (2009): Erosive and environmental impacts of hydrological correction check dam. In *Dams: Impacts, Stability and Design*. Walter P. Hayes and Michael C. Bornes (eds). Nova Science Publishers, Hauppauge, N.Y., 161-178.
- ROMERO DÍAZ, A., BELMONTE SERRATO, F., PLAZA MARTÍNEZ, J.F., SÁNCHEZ SORIANO, A., RUIZ SINOGA, J.D. (2009): Estimated volume of soil lost by erosion processes by piping. Southeastern Spain. In: Romero Díaz, A., Belmonte, F., Alonso, F.

- & López Bermúdez, F. (eds.) *Advances in studies on Desertification*. Editum, Murcia, pp. 403-407.
- SÁNCHEZ SORIANO, A., ROMERO DÍAZ, A., MARÍN SANLEANDRO, P. (2003): Procesos de «piping» en campos de cultivo abandonados (Campos del Río, Murcia). In: Bienes, R. & Marques, M.J. (eds.) *Control de la erosión y degradación del suelo*. IMIA, Madrid, 625-629.
- SANCHO, C., BENITO, G., GUTIÉRREZ, M. (1991): *Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G. n° 2, SEG, Geoforma Ediciones, Logroño.
- SANZ MONTERO, E., AVENDAÑO, C., COBO, R., GÓMEZ, J.L. (1998): Determinación de la erosión en la Cuenca del Segura a partir de los sedimentos acumulados en sus embalses. *Geogaceta* 23, 135-138.
- SOTO, D. (1990): Aproximación a la medida de la erosión y medios para reducir esta en la España peninsular. *Ecología*, Fuera de Serie n° 1, 169-196.
- VANDEKERCKHOVE, L., POESEN, J., GOVERS, G. (2003): Medium term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurement. *Catena* 50, 329-352.
- VAS WESEMAL, B., RAMBAUD, X., POESEN, J., MULIGAN, M., CAMMERAAT, E., STEVENS A. (2006): Spatial patterns of land degradation and their impacts on the water balance of rainfed treecrops: A case study in South East Spain. *Geoderma* 133, 43-56.
- VERSTRATEN, G., POESEN, J., DE VENTE, J., KONINCKX, X. (2003): Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology* 50, 327-348.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. The USDA Agriculture Handbook No. 537.

