

# Geografía Aplicada en la Región de Murcia: Guía de las Salidas de Campo

XV COLOQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFÍA

Murcia, España, 7-9 noviembre 2016



## COORDINADORES

Ramón García Marín • Francisco Alonso Sarría •  
Francisco Belmonte Serrato

## AUTORES

Francisco Alonso Sarría • José Luis Andrés Sarasa • Gustavo Ballesteros Pelegrín •  
Francisco Belmonte Serrato • Cayetano Espejo Marín • David Espín Sánchez • Ramón  
García Marín • Francisco Gomáriz Castillo • Daniel Ibarra Marinas • Alfredo Pérez  
Morales • Asunción Romero Díaz • Víctor Ruiz Álvarez • José María Serrano Martínez

Primera edición, 2016

El editor no se hace responsable de las opiniones recogidas, comentarios y manifestaciones vertidas por los autores. La presente obra recoge exclusivamente la opinión de su autor como manifestación de su derecho de libertad de expresión.

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

© Ramón García Marín  
Francisco Alonso Sarría  
Francisco Belmonte Serrato  
(Coords.)

© Cada uno de los autores de los textos

Edición a cargo de: Asociación de Geógrafos Españoles

I.S.B.N.: 978-84-944193-6-2

Depósito Legal: M 37938-2016

Imprime: Compobell, S.L.

Impreso en España - Printed in Spain

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
1. CARTAGENA Y SU CAMPO .....	11
2. RIESGOS NATURALES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS MULA Y GUADALENTÍN .....	55
3. EL NOROESTE MURCIANO, TIERRA DE CONTRASTES.....	123
4. CAMBIOS, PERMANENCIAS Y RETOS EN EL TERRITORIO DE LA AGLOMERACIÓN URBANA DE MURCIA .....	151

## INDICE

### **1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS**

#### **1.1. Cuenca de Mula**

#### **1.2. Cuenca del Guadalentín**

### **2. RIESGOS DE EROSIÓN**

#### **2.1. Cuenca de Mula**

2.1.1. Estudios experimentales sobre procesos de erosión.

2.1.2. Tasas de erosión según la RUSLE

2.1.3. Riesgos de erosión por procesos de “*piping*”

2.2.4. Estudios de desertificación desarrollados en la Cuenca del Guadalentín

#### **2.2. Cuenca del Guadalentín**

2.2.1. Tasas de erosión según la RUSLE

2.2.2. La Rambla de Algeciras y los barrancos de Gebas

2.2.3. Forestaciones en la Cuenca del Guadalentín y riesgos de erosión asociados

2.2.4. Estudios de desertificación desarrollados en la Cuenca del Guadalentín

### **3. RIESGOS DE AVENIDAS E INUNDACIONES**

#### **3.1. Las inundaciones del río Segura a lo largo de la Historia**

#### **3.2. Causas de avenidas e inundaciones**

3.2.1. Causas climáticas

3.2.2. Capacidad de infiltración de los suelos

3.2.3. Factores morfoestructurales

3.2.4. Ordenación del territorio

#### **3.3. Acciones de defensa contra inundaciones**

3.3.1. Obras de infraestructura

3.3.2. Restauración hidrológico-forestal

#### **3.4. Ejemplos de avenidas**

3.4.1. La avenida del 14 de octubre de 1973

3.4.2. La avenida del 16-17 de octubre de 2003

3.4.3. La avenida del 28 de septiembre de 2012

### **4. RIESGOS SÍSMICOS**

#### **4.1. Sismicidad del área de estudio**

4.1.1 Marco geológico y geodinámico

4.1.2 Peligrosidad sísmica de la Región de Murcia

#### **4.2. Vulnerabilidad al peligro sísmico**

4.2.1 Vulnerabilidad institucional

4.2.2 Vulnerabilidad biofísica

4.2.3 Percepción del riesgo

#### **4.3. Movimientos sísmicos recientes**

4.3.1 El terremoto de 11 de Mayo de 2016 en Lorca, Cuenca del Guadalentín

4.3.2 El terremoto de 2 de Febrero de 1999 de Mula, Cuenca de Mula

#### **4.4. Conclusión**

### **5. REFERENCIAS**



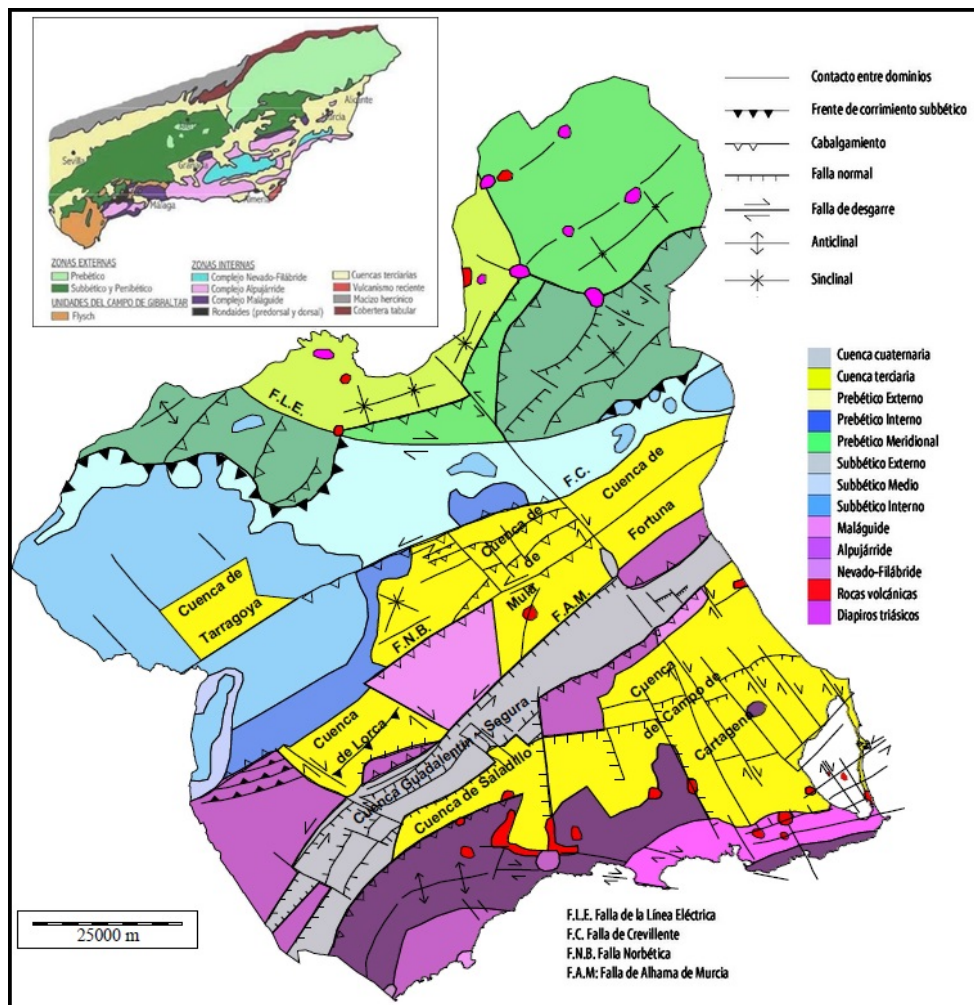


Figura 2: Mapa geológico de la Región de Murcia. Fuente: Rodríguez Estrella (2007).

## 1.1. Cuenca de Mula

La Cuenca de Mula se sitúa en el centro de la Región de Murcia, tiene una superficie de 647 km<sup>2</sup> y una altitud media en torno a los 500 m (Figura 1). Está drenada por el río Mula y su principal afluente el río Pliego, siendo ambos a su vez, afluentes del río Segura.

Desde el punto de vista topográfico, constituye una zona deprimida rodeada de importantes elevaciones por todos sus flancos a excepción del oriental. Al norte se encuentra la sierra de Ricote (1.124 m), al sur las sierras de España (1.579 m) y Cambrón (1.525 m), y al oeste las sierras de Labia (1.234 m) y Burete (1.184 m); el sector oriental, por el contrario, se abre al valle del Segura en donde desemboca el curso principal que surca el territorio.

El dispositivo estructural y la litología permiten diferenciar varios conjuntos de geformas, en función de las características topográficas y geomorfológicas:

1. Relieves de la orla montañosa, situados por encima de los 650 m de altitud y con fuertes pendientes, entre 250 y 350. Destacan las sierras de Ricote, al Norte; España al Suroeste; y Cambrón, Lavia y Burete al Oeste.
2. Relieves estructurales, con morfología tabular y monoclinal, por encima de los 300 m sobre el nivel del mar y pendientes entre 150 y 350. Estos relieves se han labrado en las series de areniscas y calizas que quedan en resalte sobre las margas, a las que culminan y sobre las que se desarrollan laderas regladas.
3. Formas de piedemonte, abanicos aluviales y glacis, modeladas entre 150 y 500 m de altitud, y con pendientes entre 50 y 150. En la actualidad, estas formas de modelado están muy disectadas por la erosión. Es posible observar varios niveles de glacis, estando el superior encostrado.
4. Formas de erosión hídrica de fondo de cuenca y áreas adyacentes, inscritas en superficies topográficas suaves, entre 10 y 100, pero con pendientes individuales muy fuertes. Las cárcavas son la expresión morfológica y paisajística más representativa.

5. Terrazas fluviales, originadas como consecuencia del encajamiento progresivo del río Mula en los materiales neógenos. Es de mencionar que los niveles superiores se corresponden con depósitos fluvio-palustes, que se encuentran rellenando el paleovalle del río Mula (Romero Díaz et al., 1992a).

La Cuenca se encuentra limitada al Norte y al Sur por dos importantes fallas de desgarre, las fallas Nord-Bética y la de Lorca-Alhama, respectivamente (Figura 2). Su límite oriental está constituido por otra falla de desgarre que controla el curso del río Segura, mientras que su límite occidental lo constituyen distintas elevaciones montañosas.

La presencia de la Tectónica en la Cuenca de Mula ha sido la responsable, no solo de su configuración como cuenca, sino también de sus características morfológicas actuales. Los efectos neotectónicos quedan patentes en numerosos aspectos: afloramientos de aguas termales, afloramiento de rocas ígneas (dique de fortunitas), presencia de fracturas en depósitos recientes, desnivelación de relieves tabulares, y existencia de numerosos epicentros sísmicos.

El relleno sedimentario neógeno está constituido fundamentalmente por una serie margo-arenosa con intercalaciones calcáreas y conglomeráticas de carácter marino, atribuibles al Tortoniense y Messiniense. La sedimentación cuaternaria está vinculada a la instalación y encajamiento del río Mula y también al desarrollo de sistemas de abanicos aluviales y glaciares, constituidos a partir de los nuevos relieves generados durante la emersión e inmersión de la Cuenca neógena durante el Plio-Cuaternario, el Frente de Cejo Cortado-Sierra del Cajal, la Sierra de la Muela y la alineación Los Tollos-Rodeos (Romero Díaz et al., 1992a).

Los ríos-rambla Mula y Pliego tienen un régimen torrencial, con acusadísimo estiaje y espectaculares avenidas. Sirvan como ejemplos los 400 m<sup>3</sup>/s que registró el 7-11-1987 el río Mula en la estación de aforos de Alguazas, junto a su desembocadura en el Segura, o las últimas inundaciones registradas el 16-10-2003 en los municipios de Albudeide y Campos del Río, por el desbordamiento del río Mula, como consecuencia de los 130 l/m<sup>2</sup> caídos en 3 horas.

Las condiciones climáticas actuales de la Cuenca de Mula, pueden catalogarse de áridas o semiáridas atendiendo a las distintas clasificaciones. Sus rasgos más destacados son: escasas e irregulares precipitaciones (300 mm de media anual), altas temperaturas (17-18 °C de media anual, pero con más de 100 días al año en los que se superan los 30 °C), fuerte evapotranspiración (900 mm anuales) y, por tanto, elevado déficit hídrico (600 mm de media anual). El régimen de las precipitaciones, característico de los climas mediterráneos, muestra dos máximos equinociales, siendo abril y octubre los meses más lluviosos, con la particularidad de presentar caracteres torrenciales. Las precipitaciones se concentran en corto espacio de tiempo, lo que repercute directamente en su alto poder erosivo.

## **1.2. Cuenca del Guadalentín**

La cuenca del Guadalentín ocupa una superficie de 3.300 km<sup>2</sup> y comprende parte del sector suroccidental de la Región de Murcia y nororiental de la provincia de Almería (Figura 1). La cabecera de la cuenca se localiza en el noreste de la provincia de Almería y es el principal afluente del río Segura, con el que confluye (en la actualidad) aguas abajo de la ciudad de Murcia.

En general, la topografía ofrece un predominio altitudinal de sectores intermedios comprendidos entre los 500 y 1.200 m, por la importancia superficial que adquieren los llanos interiores, y piedemontes. Sectores éstos con pendientes de moderadas a fuertes que representan el 55 y 36% superficial. Dos rupturas importantes, coincidentes con grandes accidentes tectónicos que atraviesan la cuenca, se identifican y marcan los principales contactos topográficos entre sierras y piedemontes y éstos con los llanos; la primera entre 1200 y 1300 m; y la segunda entre los 400 y 500 m.

La cuenca presenta una gran variedad litológica desde el Paleozoico al Cuaternario. Los estratos más antiguos están constituidos por rocas metamórficas y sobre estas se disponen: calizas, arcillas, dolomías, conglomerados, areniscas y yesos. En las secuencias Pliocenas y Cuaternarias, ampliamente representadas en la cuenca del Guadalentín, aparecen: arenas, margas, depósitos coluviales, aluviales y conglomerados basales. También existen afloramientos volcánicos de edad Pliocena y del Cuaternario antiguo.

La característica estructural más importante es la gran fosa tectónica que forma una depresión por la que circula el río Guadalentín. La fosa tectónica tiene una dirección NE-SW y se extiende a lo largo de 90 km de longitud, desde la provincia de Almería hasta la ciudad de Murcia. Los bordes son dos importantes frentes montañosos de falla desarrollados a favor de dos grandes accidentes plio-cuaternarios béticos identificados por Bousquet (1979), las fallas de Lorca-Alhama y Nor-Carrascoy (Figura 2). La falla de Lorca-Alhama constituye un accidente tectónico sísmicamente activo durante todo el Cuaternario (Rodríguez Estrella y Almoguera Lucena, 1986; Arana Castillo et al., 1992; Silva et al., 1997). Por el norte la fosa tectónica está bordeada por Sierra Espuña (1.583 m) y las sierras menos elevadas de La Muela (640 m) y del Cura (429 m). Por el sur, la fosa está limitada por la sierra de Carrascoy (1.066 m), la cual constituye otro frente montañoso de falla desarrollado a favor del accidente Nor-Carrascoy (Silva et al., 1992). La Fosa o depresión del Guadalentín está rellena por materiales detríticos mio-plio-cuaternarios (de hasta 1.500 m de potencia) deformados por la neotectónica reciente.

La compartimentación interior del relieve, variedad de formas de modelado y drenaje son el resultado, por un lado, de una compleja evolución geológica en el ámbito de las Cordilleras Béticas y, por otro, a la acción combinada de diferentes sistemas morfogenéticos ligados a cambios y pulsaciones climáticas cuaternarias. Las morfogénesis cuaternarias y la instalación definitiva de la red hidrográfica fueron los responsables, en gran parte, del modelado superficial que ofrece el territorio. Enlazando las laderas de las principales unidades montañosas con los llanos se elaboraron amplios sistemas de abanicos aluviales, glaciares y terrazas fluviales constituyendo junto con el modelado fluvial de regatos, barrancos y ramblas las formas más representativas del paisaje (Romero Díaz et al., 1992a).

Del relieve, el contraste entre unidades morfológicas es el rasgo principal, de tal forma que sierras (María, Gigante, Almiraz, Pedro Ponce, Cambrón, Madroño, Tercia, Espuña, Enmedio, Almenara, Carrascoy); valles (Chirivel-Corneros, Luchena y Guadalentín); llanos sobreelevados (Coy, Avilés, Doña. Inés, Fuente Librilla) y depresiones (Lorca, y las del sector noroccidental) se suceden alternativamente. Las formas de transición se realizan a partir de amplias laderas y piedemontes con predominio de solanas en función de la orientación general de los relieves.

En la Cuenca de Guadalentín convergen una serie de factores físicos y humanos que han configurado una de las regiones con mayores índices de desertificación en Europa. La combinación de un amplio conjunto de factores de degradación (climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, socioeconómicos, etc.) motivaron su selección como cuenca piloto dentro de varios proyectos de investigación para el estudio de los procesos de desertificación en el Mediterráneo (López Bermúdez et al., 1998b; Romero Díaz y López Bermúdez, 2009).

Desde el punto de vista hidrológico, el río Guadalentín constituye un curso capaz de suministrar caudales, en régimen de avenida, de hasta 3.000 m<sup>3</sup>/s y permanecer años casi completamente seco aguas abajo de Lorca, con unas aportaciones hídricas globales escasas, para un territorio intensamente humanizado (Navarro Hervás, 1991). Por ello, el hombre tuvo que recurrir, primero a la construcción de embalses (Valdeinfierno y Puentes) y canales de desviación (como el del Reguerón y Paretón) y, con posterioridad, a la explotación desmesurada de las aguas subterráneas, cuyos acuíferos se encuentran prácticamente sobreexplotados.

En definitiva, la Cuenca del Guadalentín podría considerarse como un modelo de cuenca mediterránea semiárida, de gran complejidad geológica, tectónicamente aún activa, con unas condiciones climáticas actuales de irregulares precipitaciones, fuertes contrastes térmicos y acusada aridez, intensamente drenada a partir de una red hidrográfica mayoritariamente heredada, con un funcionamiento hídrico esporádico y excepcional bajo condiciones pluviométricas extremas, que ofrece como modelado más representativo, amplios sistemas de abanicos aluviales al pie de los principales frentes montañosos, glaciares, terrazas fluviales y un numeroso cortejo de regatos, ramblizos y ramblas, resultado de diferentes procesos de erosión.

## **2. RIESGOS DE EROSIÓN**

### **2.1. Cuenca de Mula**

La cuenca de Mula, se caracteriza por ser una cuenca neógena-cuaternaria, que presenta un estado avanzado de excavación y de evacuación de sus depósitos sedimentarios. El drenaje actual jerarquizado y canalizado



por el río Mula hacia el río Segura ha vaciado y continua haciéndolo, la depresión de los materiales margo-arcillosos que la rellenan. El carácter deleznable de los materiales, las características climáticas áridas que soporta la Región, junto a la escasa cubierta vegetal y con frecuencia, las deficientes prácticas agrícolas, han configurado un paisaje subdesértico, muy abarrancado, repleto de cárcavas y barrancos (Figura 3) en donde los riesgos de erosión son importantes elevadas.

La Cuenca de Mula es uno de los sectores de la Región de Murcia y de todo el dominio mediterráneo español, con mayores tasas de erosión, entre 50 y 250 t/ha/año (Romero Díaz y López Bermúdez, 1985). Los registros de sedimentos aportados por el río Mula, antes de recibir al río Pliego, al pequeño embalse de La Cierva (7 Mm<sup>3</sup> en 1929 y 5,20 Mm<sup>3</sup> en 1985), son de 51 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, con la correlativa pérdida de capacidad de almacenamiento y regulación de las escorrentías (Romero Díaz et al., 1992b). Este valor se incrementaría acusadamente, si el punto de control estuviese aguas abajo donde confluyen numerosas ramblas que drenan el territorio margo-arcilloso central.



Figura 3: Cárcavas y barrancos en el sector central de la Cuenca de Mula.

### 2.1.1. Estudios experimentales sobre procesos de erosión

En la cuenca de Mula se vienen realizando estudios de erosión de suelos desde 1982, año en el que el Área de Geografía Física de la Universidad de Murcia, junto con el Profesor John Thornes, instalaron las primeras parcelas experimentales (Romero Díaz y Ruíz Sinoga 2015). Esta cuenca ha sido objeto de estudio en numerosos proyectos de investigación, tanto de carácter regional, nacional, como internacional (EPOCH y MEDALUS). Algunos de los datos obtenidos han servido para validar modelos de erosión (SHETRAN Y MEDALUS) y desde 1995, dos campos experimentales localizados en esta área han formado parte de la RESEL (Red de Estaciones de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y Desertificación) (Romero Díaz y López Bermúdez, 2009).

En la Cuenca de Mula y en su vecina la Cuenca de Rambla Salada se instalaron 4 campos experimentales (Figura 4): Rambla de Gracia (1982), El Ardal (1988), Los Guillemos (1991) y El Minglanillo (1996). En la actualidad ningún campo está ya operativo, pero han sido muchos los resultados obtenidos.

(1) En “Rambla de Gracia”, se midieron y estudiaron: parámetros de humedad del suelo, tasas de infiltración, cubierta vegetal, capacidad de retención del suelo por algunas especies vegetales, así como procesos erosivos y producción de sedimentos (López Bermúdez, *et. al.*, 1984, 1986; Fisher et al., 1987; Francis, et al., 1986; Romero Díaz et al., 1988).

(2) En el campo experimental de "El Ardal" (que incluía una microcuenca de 2 has), en una ladera cubierta de matorral mediterráneo y sobre sustrato calizo, se controlaron parámetros climáticos, hidrológicos, pérdidas de suelo y escorrentía, (mediante 17 parcelas con diferentes orientaciones, pendientes y usos del suelo), biomasa, índice de protección de la cubierta vegetal y hojarasca caída, humedad del suelo, interceptación, y también se realizan diferentes análisis químicos de pérdida de fertilidad (Alias et al., 1997). El objetivo fundamental de este campo de experimentación consistió en estudiar las interacciones atmósfera-suelo-agua-planta en un medio mediterráneo y sus relaciones con los procesos de erosión del suelo, bajo matorral y diversos manejos del suelo. Algunos de los resultados obtenidos están publicados en López Bermúdez et al., 1991, 1996, 1998a, 1998b; Martínez Fernández et al., 1991, 1995, 1996; Romero Díaz et al., 1995, 1998, 1999; Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2002; Alias et al., 1997; Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1998, 1999, 2013; Belmonte Serrato et al., 1999a y 1999b, 2002.

(3) En "Los Guillemos", de litología margosa, en un sector de topografía muy abrupta, debido al fuerte abarrancamiento existente en esta área, el objetivo fue estudiar la génesis, evolución y prevención de cárcavas (López Bermúdez, et al., 1992; Alonso Sarría et al., 1994). Las instalaciones que se pusieron en este lugar fueron objeto de vandalismo, en varias ocasiones, por lo que hubo que dismantelar la estación experimental.

(4) Y en la estación experimental de "El Minglanillo", se instalaron 6 parcelas de erosión-escorrentía en margas. Aquí se realizaron, junto a estudios de erosión laminar, diversos estudios de seguimiento de procesos de erosión en surcos. También se llevó a cabo una caracterización fisico-química y mineralógica de los suelos, además de un seguimiento detallado de las variaciones en la humedad del suelo mediante el sistema TDR.

Las estaciones experimentales de "El Ardal" y "El Minglanillo, como era de esperar por su diferente litología, mostraron resultados contrastados. En la tabla 1 se presenta la descripción de las principales características de los dos campos experimentales.

Tabla 1: Características de los campos experimentales "El Ardal" y "El Minglanillo".

	<b>EL ARDAL</b>	<b>EL MINGLANILLO</b>
Fecha de instalación	1989	1996
Altitud	550 m	350 m
Tamaño de las parcelas	10 x 2 m	10 x 2 m
Orientación	350° Norte	45° Norte
Pendiente media	20%	10%
Litología	Calizas	Margas
Precipitación media	290 mm	270 mm
Temperatura media mínima	Enero 6°	Enero 12°
Temperatura media máxima	Agosto 24°	Julio 28°
ETP	1.000 mm	1.100 mm
Cubierta vegetal	Matorral denso	Matorral abierto

Para el periodo común de datos, se realizó un estudio comparativo (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2002) y en él se observaron las diferencias existentes entre ambos campos (Tabla 2), distantes entre sí tan sólo 18 km en línea recta y con prácticamente las mismas características climáticas.

Es de destacar las diferencias tan marcadas que se observan en los dos campos, mientras que sobre margas ("El Minglanillo") las tasas más elevadas son de 7,5 t/ha/año, sobre calizas ("El Ardal") las tasas no superan las 2 t/ha/año. Por usos del suelo, en "El Ardal (calizas), los campos abandonados son los que menos erosión registran, por el contrario en "El Minglanillo" (margas) estos mismos campos registran más erosión que los que tienen una cobertura de matorral. Los campos con cultivo de cereal son los que presentan las mayores tasas de erosión, pero sobre margas los valores son muy superiores a los registrados sobre calizas (Figura 5).



Figura 4: Localización de los campos experimentales de erosión en las Cuencas de Mula y Rambla Salada.

Tabla 2: Tasas de erosión y escorrentía del periodo común de datos en El Ardal y Minglanillo.

Usos suelo	EROSION (g/m <sup>2</sup> )		ESCORRENTIA (%)		TASA DE EROSION (t/ha/año)	
	Ardal	Minglanillo	Ardal	Minglanillo	Ardal	Minglanillo
Cultivo	27.89	64.46	3.77	36.41	1.84	7.47
Matorral	2.31	7.27	1.57	4.41	0.21	0.80
Abandono	0.46	7.11	1.13	20.08	0.04	1.12

Algunos de los parámetros edáficos analizados indican diferencias importantes en ambas áreas experimentales. El menor contenido en materia orgánica, la baja estabilidad de agregados y la presencia de menores elementos finos en los suelos, podría explicar las elevadas tasas de erosión y escorrentía de “El Minglanillo”, en comparación con las obtenidas en “El Ardal”.

De estos datos se deduce el riesgo que conlleva el extrapolar datos de erosión y escorrentía. En este caso, los campos experimentales están separados unos pocos kilómetros y en ellos se aprecian diferencias en los episodios lluviosos y un cambio radical en las características edáficas. Por ello, es importante poseer datos de la mayor cantidad de situaciones posibles, para, de este modo, poder ofrecer unos resultados más acordes con la realidad.

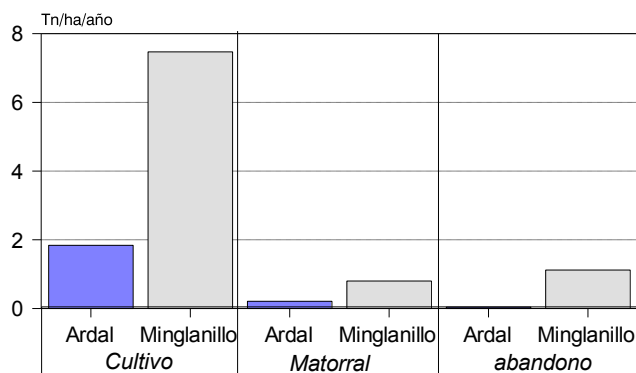


Figura 5: Tasas de erosión en los campos experimentales de “El Ardal y “El Minglanillo”. Fuente: Romero Díaz y Belmonte Serrato (2002).

### 2.1.2. Tasas de erosión según la RUSLE

La RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), constituye la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada, utilizada para la elaboración del Inventario nacional de erosión de suelos (INES, 2002). De este inventario se ha extraído el mapa de erosión en cárcavas y barrancos (Figura 6) y el de erosión por movimientos en masa (Figura 7). El mapa de erosión laminar y en regueros al no ofrecer mucho contraste espacial a nivel regional y de las cuencas estudiadas no se ha incluido en este estudio.

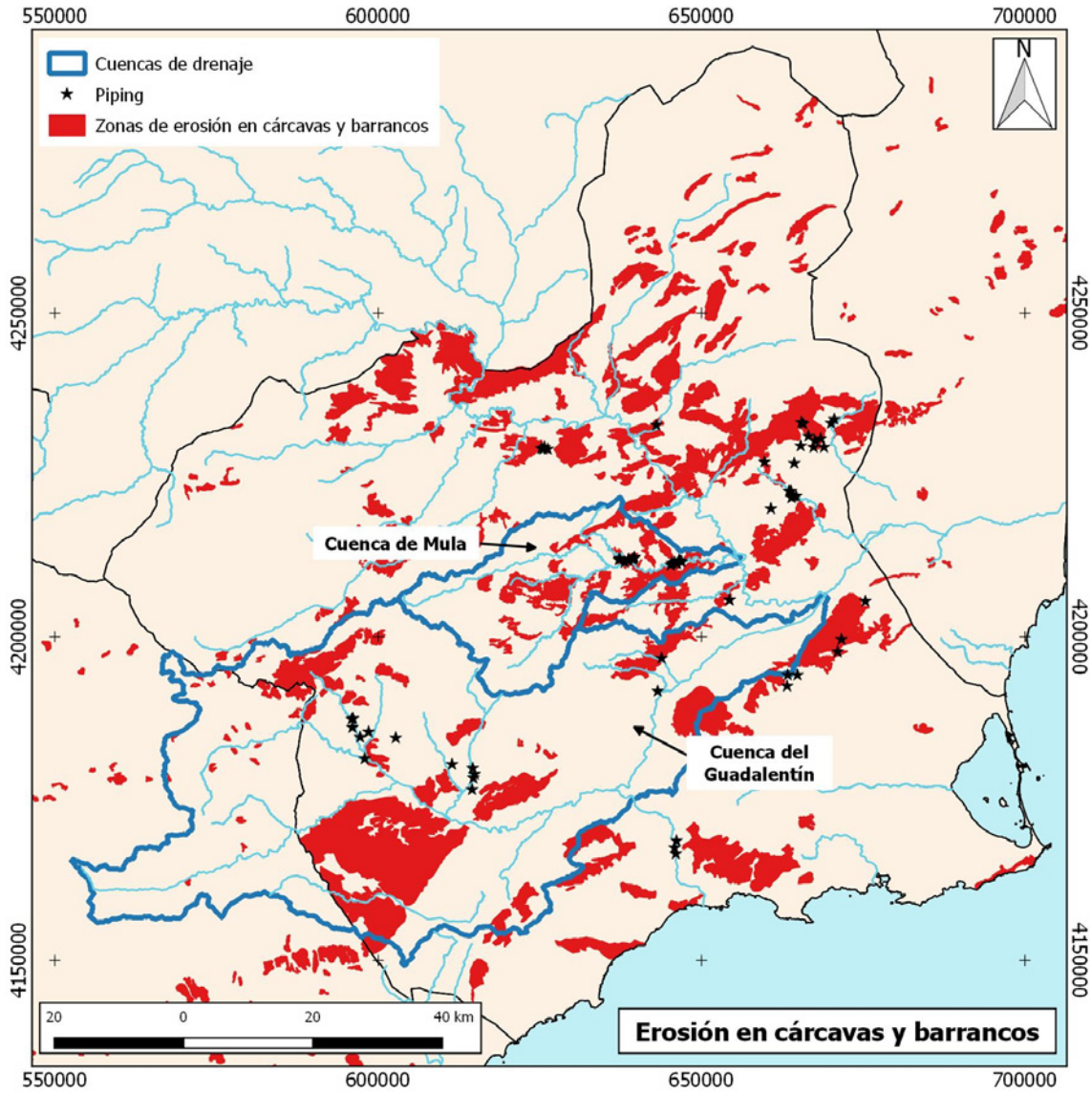


Figura 6: Erosión en cárcavas, barrancos y *piping* en la Región de Murcia y en las cuencas de los ríos Mula y Guadalentín. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INES (2012) y Sánchez Soriano (2012) para los datos de *piping*.

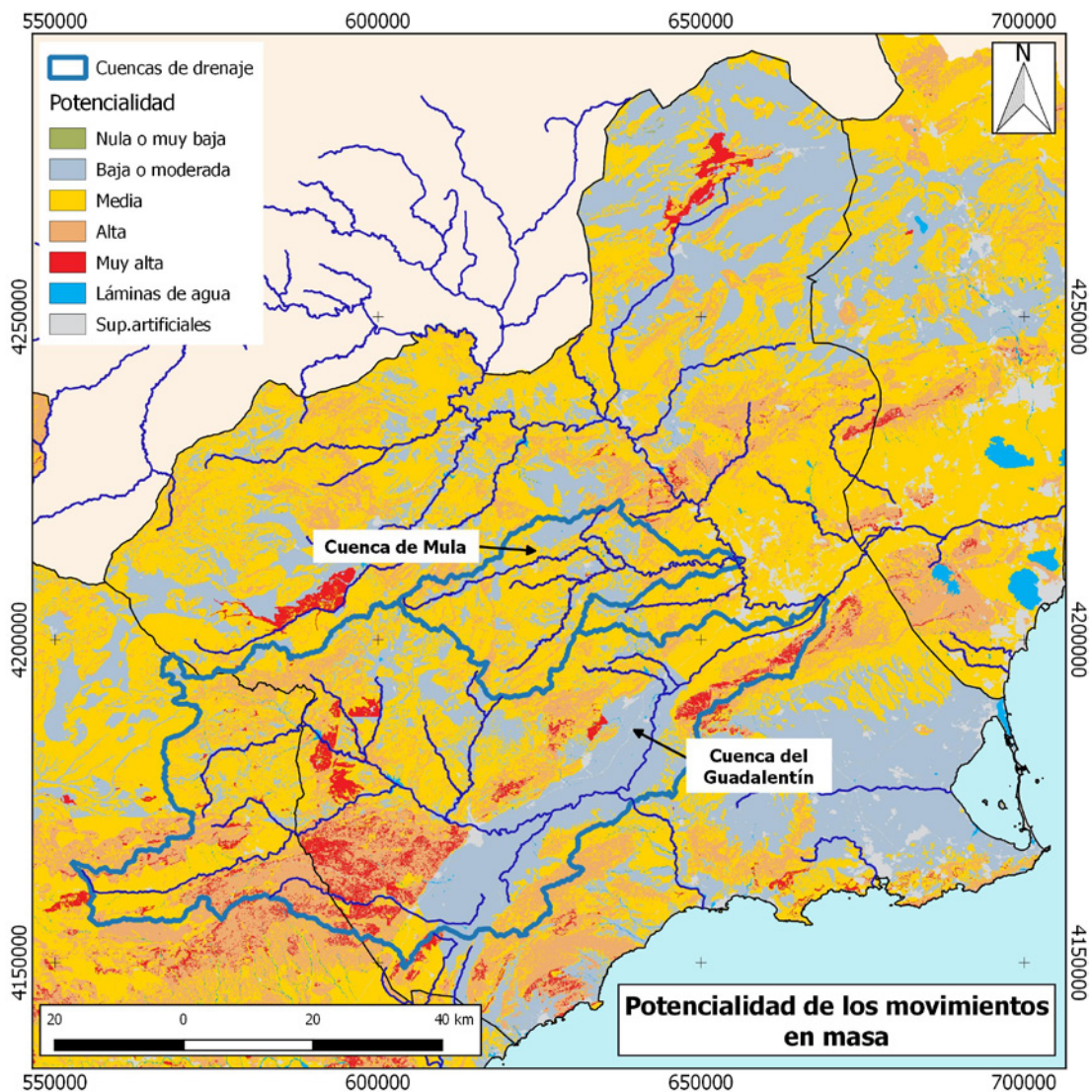


Figura 7: Erosión por movimientos en masa en la Región de Murcia y en las cuencas de los ríos Mula y Guadalentín. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INES (2012).

Respecto a la **erosión en cárcavas y barrancos**, la superficie ocupada por estos procesos en la Cuenca Mula (15,4%), aunque más elevados que en el conjunto regional (14.2%), no ofrecen una diferencia muy significativa por el hecho de que en gran parte de la cuenca, como se observa en la figura 6 están ausentes estos procesos, en especial en la cabecera y piedemontes

Los **movimientos en masa** más frecuentes en la Cuenca de Mula son los de intensidad media, con una representación del 62% frente al 46% de la Región. Predominan los de tipo derrumbe y deslizamientos, presentes en las áreas de badland y, muy especialmente, ligados a los procesos de *piping* (Figura 6).

### 2.1.3. Riesgos de erosión por procesos de “*piping*”

En la Región de Murcia en general y en la cuenca de Mula en particular, los procesos de *piping* tienen una amplia representación, en especial, es en el término municipal de Campos del Río (margen derecha del río Mula), en donde su desarrollo, en campos de cultivo abandonados y aterrizados, es muy importante (Figura 8).

El término *piping* (erosión en tunel), se usa para describir los procesos de erosión subsuperficiales. El proceso se origina por flujos concentrados bajo la superficie que pueden comenzar a partir de grietas de desecación o pequeñas diaclasas y provocan la remoción y disolución del material, creando conductos tubulares subterráneos (*pipes*), que pueden evolucionar hacia cárcavas profundas de paredes verticales.

Las causas que originan el *piping*, descritas ampliamente (Sánchez Soriano, 2012), se atribuyen a orígenes diversos: mecánicas, químicas (dispersión del suelo) o bióticas (excavación de animales y plantas). De entre las causas esgrimidas con mayor frecuencia están: la existencia de un gradiente hidráulico, diferencias de porosidad-permeabilidad en los distintos horizontes del suelo, presencia abundante de sodio y el tipo de uso del suelo (Parker, 1964). El *piping* se ha observado tanto en paisajes naturales como antrópicos, en diferentes climas, litologías y depósitos, así como bajo diferentes usos del suelo y cubierta vegetal. No obstante, en medios semiáridos alcanza un gran desarrollo y es donde se encuentran las formas mayores (Bryan y Jones, 1997).

El sector que aquí se describe, ha sido estudiado por Sánchez Soriano et al., (2003, 2004), Marín Sanleandro et al., (2004) y Romero Díaz et al., (2007b, 2009). En el se han individualizado 7 áreas principales: seis de ellas (áreas 1, 2, 3, 4, 6 y 7) se corresponden con vaguadas aterrazadas y anteriormente en cultivo, y el área 5, se corresponde con una ladera roturada y aterrazada para su puesta en cultivo, en espera de las aguas del trasvase Tajo-Segura, pero que nunca llegaron y, por ello, estas tierras nunca se cultivaron. La superficie aproximada del sector estudiado ocupa alrededor de 2 km<sup>2</sup>. El área 6 (Figura 9), fue objeto de estudio con anterioridad por parte de López Bermúdez y Torcal Sainz, 1986; López Bermúdez y Romero Díaz, 1989; y Watts, 1991.

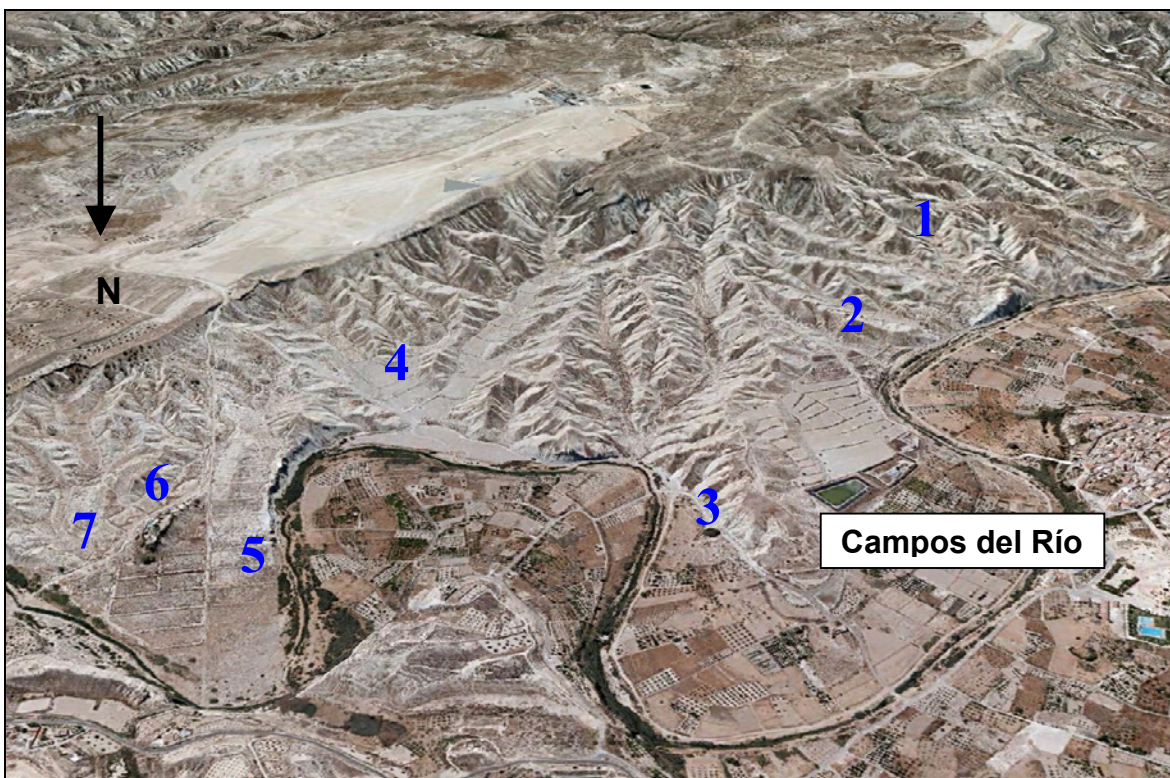


Figura 8: Localización de las áreas con *piping* en los alrededores de Campos del Río.

Fuente: Imagen obtenida de cartomur.com

En la actualidad, todo este sector está intensamente afectado por procesos de erosión hídrica, por lo que presenta un importante desarrollo de cárcavas y barrancos (Figura 8). Gran parte de las vaguadas fueron aterrazadas y usadas como tierras de cultivo de cereal primero, y de almendros después en algunas de ellas, hasta aproximadamente los años setenta del siglo pasado. A partir de estos años se produjo un progresivo abandono, y el deterioro irreversible de estos campos de cultivo, en los cuales el proceso del *piping* se encuentra muy desarrollado. Los suelos son *Regosoles calcáricos* según FAO (1999) o **Torriorthent** típicos en Soil Taxonomy (1999). La escasa vegetación actual existente, compuesta principalmente por *Salsola genistoides*, *Lygeum spartium*, *Asparagus*, *Moricandia arvensis*, *Thimelaea hirsuta* y *Artemisia herbaalba*, no tiene el suficiente carácter protector, que estos suelos necesitan.

El estudio del *piping*, se ha hecho a partir de reconocimientos cartográficos detallados, interpretación de fotografías aéreas y minuciosos trabajos de campo. Se han medido: pendientes, superficies, profundidades de

los pipes, altitudes entre las diferentes terrazas de cultivo, superficie afectada por *piping* en cada parcela, etc. (Tablas 4 y 5), con el fin de relacionar estos datos con los diferentes procesos que caracterizan la aparición y el desarrollo del *piping*. También se han tomado muestras de suelo a dos profundidades, en superficie (0-30 cm) y a 1 metro, con el objetivo de realizar en ellas diferentes determinaciones analíticas en el laboratorio.

Tabla 4. Características de las áreas de estudio con presencia de *piping*.

AREA	Dimensión media de las parcelas (m <sup>2</sup> )	Pendiente media (%)	Altura media entre parcelas (m)	Profundidad media de los pipes (m)	Altura Max. entre parcelas (m)	Profundidad máxima de los pipes (m)
1	739	7,7	2,01	1,11	4,60	4,50
2	2857	10	1,40	1,33	4,20	3,00
3	1258	5,5	1,89	0,88	6,00	<b>8,00</b>
4	1822	4	2,59	1,25	5,80	3,30
5	2218	7,5	1,82	1,00	3,50	7,00
6	1437	5,5	1,77	1,73	4,20	4,60
7	491	4	2,05	2,50	3,00	4,00
<b>TOTAL</b>	<b>1456</b>	<b>6,3</b>	<b>1,93</b>	<b>1,40</b>	<b>6,00</b>	<b>8,00</b>

Tabla 5. Parcelas afectadas por *piping*: número, porcentaje y superficie.

AREA	Parcelas con <i>piping</i> N°	Parcelas sin <i>piping</i> N°	Parcelas con <i>piping</i> (%)	Parcelas sin <i>piping</i> (%)	Parcelas con <i>piping</i> (ha)	Parcelas sin <i>piping</i> (ha)	Hectáreas más afectadas
1	18	7	72	28	1,38	0,38	0,32
2	2	1	66,6	33,3	0,73	0,13	0,23
3	19	19	50	50	1,81	2,96	0,53
4	26	3	88,5	11,5	4,90	0,38	0,94
5	8	12	40	60	1,88	2,56	1,12
6	13	2	86,6	13,3	2,00	0,16	0,79
7	11	1	90,9	9,1	0,54	0,05	0,43
<b>TOTAL</b>	<b>97</b>	<b>45</b>	<b>70,7</b>	<b>29,3</b>	<b>13,24</b>	<b>6,62</b>	<b>4,36</b>

Las mediciones realizadas ponen de manifiesto la relación existente entre la profundidad de los *pipes* y la altura entre parcelas de cultivo, o nivel de base del río. El mayor desarrollo del proceso de *piping* se localiza en las parcelas abandonadas topográficamente más bajas, es decir, las más cercanas al nivel de base local (el río Mula). Por el contrario, las mayores profundidades, ligadas a las diferencias de altura entre parcelas, se dan donde los desniveles son mayores. En ocasiones, el desarrollo del *piping* es tan importante que se han puesto en comunicación dos parcelas, por lo que algunos *pipes* alcanzan los 8 metros de profundidad (Tabla 4). Del área estudiada, el 71% de las parcelas están afectadas por *piping*, ocupando una superficie superior a 13 has (Tabla 5).

Las determinaciones realizadas en el laboratorio muestran que los suelos analizados tienen una textura fina: limo-arcillosa (en las capas más superficiales) y arcillo-limosa (en profundidad). La estabilidad de agregados (a excepción del área 1), presenta valores inferiores al 20%, por lo que se deduce que están pobremente estructurados. La densidad aparente se sitúa en valores ligeramente superiores a 1 g/cc. El contenido en materia orgánica es muy bajo (inferior al 1%, aunque con ligeras diferencias en superficie y a 1 metro de profundidad). La conductividad eléctrica supera en todos los casos el umbral de 2 dS m<sup>-1</sup>, a partir del cual se considera salinidad en el suelo, aumentando en profundidad, lo cual favorece la aparición de *piping* en niveles subsuperficiales. La capacidad de cambio catiónico es alta, debido a la cantidad y naturaleza de la fracción arcilla (constituida por illita y esmectita preferentemente). El porcentaje de sodio de cambio (P.S.C.) se encuentra como valor medio por encima de 5, lo cual facilita la dispersión de las arcillas y la desestabilización de la estructura del suelo (sobre todo en profundidad), pero además los valores son en torno

al 1% en las capas superficiales y por encima del 7% en profundidad, lo que reafirma la hipótesis de la formación de *pipes* en niveles subsuperficiales.

A modo de conclusión se puede apuntar que las superficies aterrazadas, con escasa pendiente, con cultivos abandonados durante un largo periodo, sobre suelos margosos, como las localizadas en el centro de la Cuenca de Mula son las más susceptibles a tener riesgos de erosión por procesos de *piping*. Las características específicas de los suelos, como los estudiados aquí, son la clave para la formación y el desarrollo de *piping*. Son de destacar: las diferencias de textura y estructura a diferentes profundidades, la presencia de sales con altos contenido en sodio, o de minerales de la arcilla, que provocan grietas de retracción, por donde el agua se infiltra etc.

La aparición de procesos de erosión en campos cultivados, son corregidos, habitualmente por los agricultores. Pero en el caso de campos de cultivo con sistemas de terrazas y abandonados, en litologías fácilmente erosionables, con escasa protección vegetal o pedregosa y en ámbitos de características climáticas semiáridas, los procesos de erosión son muy difíciles de frenar (Romero Díaz et al., 2011). La degradación es tan grande que, en la mayoría de los casos, las superficies son irrecuperables para un uso agrícola, al mismo tiempo que las tasas de erosión que se registran, en estas áreas, son de las más elevadas (Figura 9).



Figura 9: Riesgo de erosión por procesos de *piping* en campos de cultivo aterrazados y abandonados en la Cuenca de Mula.

Con el objetivo de cuantificar las tasas de erosión que el proceso de *piping* produce se han analizado 122 parcelas, de las que 96 mostraron procesos de *piping* (Romero Díaz et al., 2009b). La superficie total de las parcelas afectadas es de 166.417 m<sup>2</sup>, con una superficie media por parcela de 1.983 m<sup>2</sup>. La extensión media de *piping* por parcela es del 35%, aunque existen parcelas con un 90%. El suelo perdido ha sido de 44.506 m<sup>3</sup> o 57.858 toneladas. Suponiendo un periodo de abandono de estos campos de 40 años (aunque en algunos casos 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 áreas. Destacan el área 4 con una tasa media de 361 t/ha/año. El 34% de las parcelas presenta tasas de erosión superiores a 100 t/ha/año. Sin duda, estas tasas son muy superiores a las pérdidas tolerables de estos suelos.

No obstante, 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 ha sido imposible de realizar.

## 2.2. Cuenca del Guadalentín

En la cuenca del Guadalentín, la erosión es también uno de los procesos de degradación del suelo más importantes, tanto por los riesgos que supone para uso agrícola, como por sus diferentes implicaciones medioambientales.



### 2.2.1. Tasas de erosión según la RUSLE

Como la cuenca del Guadalentín excede en su cabecera la Región de Murcia, extendiéndose por la provincia de Almería, se han obtenido los valores de erosión tanto para el sector de la cuenca que corresponde a la Región de Murcia, como a la cuenca en su conjunto (Tabla 6).

Tabla 6: Superficies (%) de erosión laminar y en regueros, y en cárcavas y barrancos para la cuenca del Guadalentín, Mula y Región de Murcia. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INES.

t/ha/año	Región	Cuenca de Mula	Cuenca Guadalentín (Total)	Cuenca Guadalentín (Región Murcia)
0-5	46,2	27,2	45,8	51,5
5-10	18,4	17,7	19,1	16,8
10-25	17,8	25,1	18,7	15,3
25-50	7,2	12,4	8,0	7,0
50-100	4,3	8,5	4,2	4,3
100-200	2,4	5,1	1,7	2,2
>200	1,0	2,2	0,5	0,7
<b>Cárcavas y barrancos (%)</b>	<b>14,2</b>	<b>15,4</b>	<b>15,1</b>	<b>19,5</b>

Según la RUSLE (INES, 2012) la erosión laminar, con tasas de erosión entre 10 y 25 t/ha/año, se sitúa en valores del 18,7% para el conjunto del Guadalentín y del 15,3% para la parte correspondiente a la Región. Comparando los valores de erosión laminar del Guadalentín con la cuenca de Mula, en el Guadalentín la erosión laminar es más baja pero, por el contrario, la erosión en cárcavas para la superficie del Guadalentín de la Región es superior. La presencia de mayor superficie de cárcavas aquí (Figura 6) se debe a la existencia de varias cuencas neógenas como la Rambla de Librilla y Algeciras, la cubeta de Lorca o la presencia en la cabecera de la cuenca de materiales metamórficos deleznable (filitas y esquistos).

Respecto a la erosión por movimientos en masa (Figura 7), si bien la tasa media de erosión es inferior a la Cuenca de Mula y a la Región de Murcia, las tasas de erosión alta y muy alta son muy superiores, representando para el conjunto del Guadalentín una superficie del 30%.

Los riesgos de erosión en esta cuenca, además de estar relacionados con las pérdidas de suelo fértil en los lugares donde se produce ("on site"), presentan importantes riesgos fuera de sitio ("off site"), ya que las escorrentías transportan gran cantidad de material que, con posterioridad, es sedimentado en los embalses, reduciendo su capacidad hasta hacerlos inservibles. Este es el caso del Embalse de Valdeinfierno que se encuentra casi totalmente colmatado (Figura 10), o el de Puentes, situado aguas abajo que tuvo que ser recrecido y en la actualidad ha sido necesario la construcción de un nuevo embalse inmediatamente aguas arriba de la antigua presa.

Tabla 7: Superficies (%) de erosión por movimientos en masa para la cuenca del Guadalentín, Mula y Región de Murcia. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INES.

t/ha/año	Región	C. Mula	C. Guadalentín (Total)	C. Guadalentín (RM)
Baja o moderada	33,3	24,4	25,3	31,3
Media	46,1	61,8	42,7	38,2
Alta	17,9	12,1	23,9	21,2
Muy alta	2,9	0,0	6,3	7,1

Generalmente hay un fuerte contraste entre las áreas de *badlands* y otras superficies con pequeña o nula erosión. No obstante, hay evidencias probadas de que algunas de las áreas de cárcavas tienen escasa erosión durante largos periodos de tiempo y tasas muy elevadas de erosión en cortos periodos, coincidiendo con lluvias muy intensas. Esto es además una cuestión de magnitud y frecuencia de los eventos de erosión.

En general, los problemas de erosión afectan principalmente a: (a) las tierras agrícolas de secano marginales con gradientes de pendiente superiores al 12% y sin prácticas de conservación de suelos, (b) y a las zonas

con escasa vegetación de matorral, suelos pobres, litologías deleznables y pendientes con gradientes superiores al 25%.

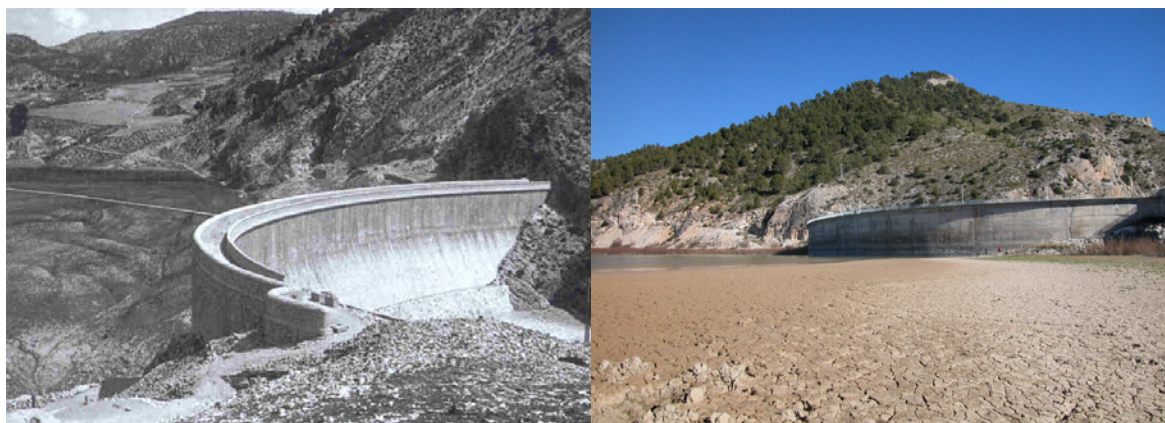


Figura 10: Embalse de Valdeinfirno en los años 1940 (izquierda) y 2000 (derecha).

### 2.2.2. La Rambla de Algeciras y Los Barrancos de Gebas

Los “Barrancos de Gebas”, situados en el sector central de la rambla de Algeciras, constituyen en la actualidad un paisaje de *badlands* espectacular, cuyo origen es similar al de la Cuenca de Mula (Figura 11). Su nombre deriva del cercano caserío de Gebas. Se trata de un espacio natural con más de 2.000 hectáreas situado entre tres cadenas montañosas: al oeste Espuña; La Muela y El Castellar al sur; El Cura al este; y la meseta de Fuente Librilla al norte. Sus principales sistemas de drenaje son las Rambla de Algeciras y Librilla que desembocan en el río Guadalentín.

Esta área tan singular en 1992 fue declarada Paisaje Protegido de la Región de Murcia (Ley 4/92 de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia). La directivas para su regulación, conservación y uso fueron establecidas por el Plan de Ordenación de Recursos Naturales nº 13/1995, junto con las del Parque Natural de Sierra Espuña. Su singularidad ha hecho también, que esta área se incluyera en el Catálogo de interés geológico de la Región de Murcia (Arana Castillo et al., 1999). De acuerdo con este catálogo, Gebas tiene un interés nacional e incluso internacional, que puede ser utilizado para fines científicos, educativos y turísticos.



Figura 11: Paisaje de *badlands* en Gébas (Rambla de Algeciras).

El origen de las rocas que se encuentran en Gebas es básicamente marino, ya que este lugar formó parte de una de las cuencas marginales del Mediterráneo, la cuenca terciaria de Alhama de Murcia-Alcantarilla (hace 7 millones de años en el Tortonense superior). En este entorno, los depósitos son principalmente de margas en el centro de la cuenca y de areniscas y calizas coralinas en los márgenes. Durante el periodo Messiniense,

la crisis de salinidad sufrida por el Mediterráneo provocó la desecación progresiva de salida de la cuenca. El noreste de Gebas (la cabecera del Barranco del Infierno, la Loma del Yesar y el Cerro del Castellar) constituyó el área más deprimida, donde las aguas marinas salobres dieron paso a una secuencia evaporítica compuesta principalmente por yeso. Sobre la margen oriental de la cuenca, durante el Mioceno superior, entornos fluviales y marismas depositaron una potente formación de margas, areniscas y conglomerados rojos. Durante el Pleistoceno, y antes del inicio de la erosión de la cuenca, una gran parte de estas rocas fueron cubiertas por depósitos fluviales rojos, a veces encostrados, que se corresponden con los extremos distales de los glaciares de las sierras de Espuña y la Muela. Por último, los procesos de erosión-sedimentación del Cuaternario superior originaron un nuevo depósito de facies torrenciales que formaron terrazas en las ramblas de Librilla y Algeciras y que se conectan morfológicamente con el glaciar Holoceno desarrollado en la depresión del Guadalentín (Camel Avila, 2000a).

Desde el punto de vista tectónico, además de la intensa fracturación de las rocas, Gebas está bordeada por la falla de Barqueros al norte-este y al sur por una falla muy activa, la de Alhama de Murcia, una de las más importantes en España, que ha tenido, sin duda, una influencia directa en la generación de los fenómenos de erosión observados en Gebas.

Lo más relevante de la geomorfología de Gebas se corresponde con las formas originadas por los procesos de erosión hídrica (Camel Avila, 2000a). Uno de los barrancos más espectaculares es el Barranco del Infierno, en el cual se pueden observar paredes verticales de casi cincuenta metros de altura. La erosión hídrica, aprovechando la presencia de grandes diaclasas, ha diseccionado las paredes, originando espectaculares galerías verticales asociadas a fenómenos de *piping*. El lugar presenta una morfología similar a la de un gran muro en ruinas con numerosas almenas, entre las que hay chimeneas de hadas de más de 10 m de altura, totalmente columnares, de aproximadamente dos metros de diámetro en su base y unos pocos decímetros en la parte superior.

Las investigaciones de Camel-Ávila (2000b) sobre la geomorfogénesis de la confluencia de las ramblas de Algeciras y Librilla con el río Guadalentín durante el Holoceno han demostrado que el desarrollo del paisaje abarrancado de Gebas está condicionado por la interacción de varios factores: la neotectónica de la falla de Alhama de Murcia, la naturaleza endorreica - exorreica del río Guadalentín, los cambios climáticos y la actividad humana en la zona.

### **2.2.3. Forestaciones en la Cuenca del Guadalentín y riesgos de erosión asociados**

#### **a) Aspectos generales de las repoblaciones**

La Región de Murcia, situada en una región semiárida, con escasa cubierta vegetal (en especial arbórea), con cursos de agua que periódicamente producen crecidas con inundaciones y con altas tasas de erosión, es una región donde desde el siglo XIX se vienen haciendo repoblaciones con fines eminentemente protectores.

Las repoblaciones más célebres en la Región de Murcia fueron las realizadas por D. Ricardo Codorniu Starico (1846-1923) en Sierra Espuña, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Los trabajos se iniciaron en 1881 con la construcción de muretes de piedra en las laderas, al objeto de frenar la erosión y crear las condiciones adecuadas para la repoblación. Las repoblaciones de Codorniu pueden considerarse modélicas atendiendo a los niveles técnicos de aquella época. Se repoblaron cerca de 8.000 has y se construyeron más de 1.500 diques, en su mayoría pequeños y de piedra en seco (Abelló de La Torre, 1988). Sierra Espuña es uno de los más importantes espacios naturales en la Región de Murcia, fue declarado Parque Natural en 1979 y más tarde en 1992 Parque Regional (Ley 4/92 de Ordenación y Protección del Territorio de la Región de Murcia). Bosques de *Pinus halepensis* dominan la parte central del Parque Regional. Sin embargo, hay una variedad de diferentes comunidades vegetales, que conforman un interesante mosaico de plantas con un número importante de endemismos de interés. El Parque Regional cuenta con un inventario de 915 especies de plantas superiores.

En la región mediterránea, dos siglos antes de Jesucristo, ya se destruían los bosques para dedicar tierras a la agricultura y para obtener madera (Perlín, 1999); aceptándose que en 1880 ya habían desaparecido las 3/4 partes de la superficie boscosa. Los bosques que quedaron fueron sometidos y todavía lo son, en gran medida, a un aprovechamiento de leñas y al pastoreo (García Salmerón, 1995). De ahí la necesidad de establecer una política forestal que restituyera parte de la vegetación arbolada, anteriormente existente.

A lo largo de la historia de las repoblaciones en España varias cosas han cambiado: desde la concepción del uso del monte, las especies utilizadas, o las técnicas de repoblación. En el siglo XIX, en España, primaba el objetivo de protección del suelo; por el contrario, durante casi todo el siglo XX las repoblaciones tuvieron un carácter marcadamente productivista (Groome, 1989), de ahí que durante este último siglo se eligieran, preferentemente, especies de rápido crecimiento. Respecto a las técnicas de repoblación hasta la primera mitad del siglo XX, se utilizaron técnicas manuales a base de plantaciones o siembra a hoyo o a faja; desde la segunda mitad del siglo XX la mecanización ha permitido ahorrar en tiempo y mano de obra, extendiéndose de un modo abusivo, las nuevas técnicas de subsolados o aterrazamientos. En el caso del Sureste de España, las repoblaciones se hicieron y se siguen haciendo, por lo general, con fines protectores, con el objetivo de “lucha contra la erosión” (Proyecto Lucdeme), con una especie casi única, *Pinus halepensis* y una única técnica “aterrazamientos con Bulldozer”.

La política forestal actual, en especial en el área mediterránea española está muy unida a la lucha contra la desertificación. El Programa de Acción contra la Desertificación (PAND) ha puesto de manifiesto como el 67% del territorio nacional está en riesgo de desertificación, siendo las comunidades de Murcia, Valencia, Canarias y Andalucía las que están en mayor riesgo. En concreto en la Región de Murcia el 100% de su territorio tiene las condiciones idóneas para estar afectada por procesos de desertificación en mayor o menor grado.

Con posterioridad a las repoblaciones ya comentadas de Sierra Espuña, la mayor superficie repoblada en la Región de Murcia data de 1970. Las repoblaciones se hicieron preferentemente en áreas vertientes al río Guadalentín (Sierra del Cura, Sierra de La Muela, Rambla de Lebor, alrededores del embalse de Puentes, etc.), áreas situadas al SE del embalse de Santomera, Sierra de Ascoy, Sector NW de Calasparra y otros núcleos de menor extensión repartidos por la geografía regional (Chaparro Fuster, 1994).

Pero no siempre las distintas actuaciones de repoblación o forestación realizadas sobre estos ambientes semiáridos, enmarcadas dentro del Plan General de Repoblaciones Forestales de España han sido positivas. Según se menciona en el Plan de Ordenación de Recursos Naturales de Sierra Espuña (CARM, 1995) “cabe afirmar que otras repoblaciones recientes han tenido una incidencia negativa para el estado de conservación del medio, tales como las de la zona de cumbres, barrancos de Gebas, y ante todo las de El Castellar, ejecutadas sobre terrenos desfavorables para el crecimiento del pinar, con tecnología que elimina el matorral, alterando los suelos y afectando, en ocasiones, a zonas de alto valor de conservación en el contexto europeo (comunidades vegetales de yesos) según la Directiva de Hábitats”.

#### **b) Forestaciones y conservación del suelo**

En diferentes áreas de la Cuenca del Guadalentín, Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008) realizaron una investigación con el objetivo de observar si los trabajos de forestación realizados en los años 70 del siglo pasado, habían cumplido los objetivos que pretendían: reducir la erosión y proteger los suelos mediante la implantación de una cubierta vegetal arbórea. Esta investigación se llevó a cabo en tres áreas localizadas en la margen izquierda del río Guadalentín. Los criterios para su localización fueron que: (1) constituían unas de las principales áreas forestadas de la Región de Murcia, (2) las forestaciones se habían realizado en distintas litologías, (3) visiblemente mostraban importantes procesos erosivos y (4) las repoblaciones se habían hecho aproximadamente en la misma época. Hay que mencionar que todas las forestaciones se habían realizado mediante la técnica de aterrazado con subsolado (técnica muy agresiva) y que la vegetación implantada fue *Pinus halepensis* (exclusivamente).

Las áreas estudiadas fueron: (1) La Torrecilla en Lorca (filitas y esquistos); (2) La Hoya en Totana (conglomerados); y (3) La Atalaya – El Castellar en Alhama y Librilla (margas)

Para la cuantificación de la erosión se utilizaron diferentes métodos: transectos geomorfológicos, perfiles topográficos, parcelas de erosión, y las ecuaciones USLE y RUSLE. Evidentemente, cada método mide cosas distintas y no es correcto establecer comparaciones entre ellos. No obstante, lo que sí se puede comparar son los datos obtenidos con un mismo método, es decir comparar por separado los resultados de los transectos geomorfológicos, de las parcelas de erosión o de la Ecuación de la RUSLE (Tabla 8). Y algo también sumamente interesante, es poder identificar aquellas áreas que, aunque se hayan utilizado distintas metodologías, siempre obtienen valores altos o bajos, es decir, más o menos erosión. En este caso se pueden

identifican áreas de erosión desde un punto de vista relativo, pero que mostrarán donde se deben de realizar las actuaciones más importantes.

Tabla 8: Tasas de erosión obtenidas por diferentes metodologías en las tres áreas de estudio (t/ha/año).  
Fuente: Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008).

Área	Transectos geomorfológicos	Perfiles topográficos	Parcelas de erosión	USLE	RUSLE
La Atalaya (margas)	105.28	67.82	1.86	25-50	28
La Hoya (conglomerados)	62.75	103.59	0.06	25-50	15
La Torrecilla (esquistos)	-	29.44	0.11	12-25	14

Por metodologías, tanto las parcelas de erosión como la USLE cuantifican la erosión laminar pero, sin duda, los resultados son muy distintos. Las parcelas dieron valores muy bajos de erosión aunque no se alejan mucho de los obtenidos por otros autores que también han trabajado en parcelas experimentales en medios bioclimáticos similares (Romero Díaz et al., 1999; Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2002; Cerda, 2001).

Los transectos geomorfológicos y los perfiles topográficos miden volúmenes de suelo perdido a través de distintas secciones, paralelos a las curvas de nivel y por tanto transversales a la pendiente de la ladera, los transectos; y en la misma dirección a la pendiente de la ladera y, por tanto transversales a las curvas de nivel, los perfiles topográficos. No obstante, los resultados obtenidos han sido contrarios en las dos áreas de estudio. Según los transectos La Atalaya es el área que mayor erosión registra, mientras que según los perfiles sería La Hoya. La razón en esta diversidad de resultados está en que al medir los perfiles sólo se mide una sección de la ladera, y las que se han medido (tanto en La Hoya como en La Atalaya) no incluían surcos o cárcavas; de ahí que la erosión resultante haya sido mayor en La Hoya que en La Atalaya.

Lo que si queda fuera de toda duda es que el área de margas (La Atalaya – El Castellar) es la que presentó los valores más elevados de erosión, tanto en las parcelas (aunque la tasa de erosión sea pequeña) como en los transectos y perfiles. El área de las rocas metamórficas es la que menor erosión registró, medida mediante los perfiles topográficos o por la ecuación USLE, las parcelas aquí ofrecen escasa erosión, aunque un valor más elevado que los conglomerados.

Según los resultados obtenidos (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008) las tasas de erosión en áreas sin forestar no exceden las 2 t/ha/año, mientras que, por el contrario, en áreas forestadas (después de 30 años) casi alcanzan las 30 t/ha/año (en el mejor de los casos) en rocas metamórficas, y que se sitúan entre las 60 y 100 t/ha/año en conglomerados y margas. Con estos resultados habría que cuestionarse mucho el efecto de protección del suelo que las repoblaciones han ejercido en las áreas estudiadas. El impacto paisajístico de las forestaciones y el éxito obtenido puede observarse en la figura 12. La densidad de masa forestal está muy lejos de haberse conseguido y, sin duda, la protección del suelo del matorral existente con anterioridad al aterrazamiento y la forestación, hubiera ejercido una función protectora del suelo frente a los procesos erosivos mucho más eficaz. Estudios realizados por otros autores sobre los efectos erosivos de las repoblaciones forestales mediante aterrazamientos, han puesto igualmente de manifiesto el notable incremento de las tasas de erosión (Ortigosa, 1991 y Chaparro Fuster, 1994).

Son varios los autores que, a través de numerosos estudios, han constatado el papel protector del suelo por parte del matorral, y también se ha escrito mucho sobre la conveniencia de no repoblar exclusivamente con especies arbóreas. Sería muy conveniente que los responsables de “proteger el suelo de los procesos de erosión” y de “luchar contra la desertificación” tuvieran en cuenta algunos de los resultados de estudios y experiencias realizadas.

En las áreas estudiadas, junto a la evaluación de la erosión, se realizaron estudios de las características de los suelos (repoblados y sin repoblar) para observar si las propiedades edáficas habían mejorado con las forestaciones. Se analizaron muestras de suelo extraídas de los taludes y terrazas de repoblación y de las áreas naturales. Los resultados mostraron como la disponibilidad hídrica en las tres áreas estudiadas es

menor en las terrazas que en las áreas naturales, siendo este uno de los objetivos perseguidos por el aterrazamiento, que no se ha conseguido. Y de entre los parámetros que más directamente están relacionados con la fertilidad del suelo y su resistencia a la erosión están: el contenido en nutrientes, la materia orgánica y la estabilidad de agregados. Pues bien, por lo general, en la mayoría de los casos, en las áreas aterrazadas, la cantidad de nutrientes ha disminuido, al igual que ha sucedido con la cantidad de materia orgánica (Tabla 9). Respecto a la estabilidad de agregados, que constituye un buen índice de resistencia de los suelos a la erosión, a excepción de La Torrecilla (metamórfico), en donde la estabilidad se ha visto mejorada en las terrazas, en La Hoya (conglomerados) y en La Atalaya (margas), ha empeorado. En definitiva, el aterrazamiento y la forestación no han mejorado las características de los suelos, y en especial en las áreas de margas y conglomerados ha potenciado su erosionabilidad.

Tabla 9: Resumen de las principales características edáficas analizadas.

Fuente: Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008).

Característica	La Atalaya		La Hoya		La Torrecilla	
	Natural	Terraza	Natural	Terraza	Natural	Terraza
Arcilla (%)	29,7	29,0	16,6	20,8	5,9	5,8
Limo (%)	68,6	69,2	39,6	47,7	35,9	38,6
Arena (%)	1,7	1,8	43,8	31,5	58,2	55,6
Materia orgánica (%)	0,96	0,63	0,72	0,23	1,48	1,18
Estabilidad agregados (%)	41,69	37,24	52,55	48,68	74,88	76,74
Capacidad Int.Catiónico (me/100g)	15,99	13,33	10,13	10,66	7,99	5,86
Potasio asimilable (mg/100g)	24,00	17,00	17,75	13,50	2,75	3,25
Magnesio asimilable (mg/100g)	88,75	61,25	65,50	92,52	107,50	93,75
Sodio (mg/100g)	11,75	9,83	15,25	16,67	12,25	10,50
Carbonato Cálcico (%)	44,57	55,21	28,2	32,4	21,57	17,37
Relación Carbono/Nitrógeno	5.72	3.84	4.37	1.41	6.36	5.06
pH H2O	8.33	8.46	8.40	8.60	8.46	8.22
Conductividad (dS m-1)	0.57	0.81	0.95	1.02	1.03	0.97



Figura 12: Aspecto actual de las forestaciones realizadas en El Castellar.

La conclusión del estudio de Romero Díaz y Belmonte Serrato (2008) es que la forestación realizada mediante aterrazamiento ha sido muy perjudicial en las áreas de La Atalaya – Castellar (margas) y La Hoya (conglomerados), debido a un empeoramiento de las características de los suelos, una reactivación de la actividad geomorfológica, un incremento de los procesos de erosión, un aumento muy considerable de las

tasas de erosión, y un escaso desarrollo de la cubierta vegetal implantada, así como de una disminución de la protección del suelo por la eliminación de la vegetación natural de matorral preexistente. Sin duda, los suelos de estas áreas hubieran estado mejor protegidos con la vegetación natural (aunque escasa), que con las actuaciones que en ellos se han realizado.

#### **2.2.4. Estudios de desertificación desarrollados en la Cuenca del Guadalentín**

La cuenca del Guadalentín, por la confluencia en ella de diversos factores físicos y humanos se ha convertido durante décadas en laboratorio de diferentes estudios de erosión y desertificación. La combinación de un conjunto de factores: climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y socioeconómicos, han hecho que fuera seleccionada como área piloto de estudio.

Aquí se han venido desarrollando, en especial desde los años ochenta del siglo pasado, numerosos estudios y proyectos de investigación relacionados con la desertificación y la degradación de los suelos. El primero de ellos fue el proyecto LUCDEME (Lucha contra la desertificación en el Mediterráneo), patrocinado por el ICONA (Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza) en 1982, dentro del cual se estudió la red de drenaje de la cabecera de la cuenca del Guadalentín (López Bermúdez et al., 1988). El objetivo de este proyecto, que se extendía por el sur y sureste de la Península Ibérica, fue mejorar el conocimiento de los procesos de desertificación en España y la forma de combatirla.

Uno de los proyectos europeos más importantes desarrollados en la cuenca del Guadalentín fue MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) de la Unión Europea, que lideró y coordinó el Profesor John B. Thornes en sus tres versiones: MEDALUS I (1991-1992), MEDALUS II (1993-1994) y MEDALUS III (1995-1998) (López Bermúdez et al., 1999). Otro destacado proyecto internacional, también financiado por la Comisión Europea fue DESERLINKS (2001-2004) (Combating Desertification in Mediterranean Europe: Linking Science with Stakeholders). En ambos proyectos se seleccionó la cuenca del Guadalentín, junto a otros territorios del Mediterráneo Europea, como escenario de análisis, actuación y prevención de la desertificación en ambientes semiáridos.

Un reciente estudio realizado por De Vente et al., (2009) en el marco del proyecto DESIRE, resume que, en general, en la cuenca del Guadalentín, ha habido un fuerte énfasis en el estudio de las características biofísicas relacionadas con el clima, la vegetación, el suelo, las inundaciones, la hidrología, y parcialmente sobre la situación socioeconómica y política de la degradación de las tierras. Los estudios realizados en relación con este último aspecto se centraron en los efectos de los subsidios agrícolas en los cambios de uso y degradación de la tierra. La mayoría de los estudios se han concentrado en la cabecera del Guadalentín y en zonas de vegetación semi-natural. No obstante, aún quedan importantes cuestiones que han sido poco investigadas como: 1) los costos de la degradación de la tierra, 2) los efectos de las diferentes estrategias de conservación a corto y largo plazo, 3) el efecto a gran escala del cambio de uso, nivelación de tierras y expansión urbana, y 4) las consecuencias futuras de la gestión de tierras tras las decisiones políticas sobre la degradación de la tierra. Siguiendo el estudio anterior (De Vente et al., 2009), los principales riesgos de degradación en la cuenca del Guadalentín son debidos a: la erosión del suelo, la superficie de suelo encostrada, la aridez, la disminución de la materia orgánica del suelo y la salinización.

La mayoría de la investigación biofísica en la cuenca del Guadalentín se ha realizado a escala de pedon y ladera. A estas escalas, para la generación de escorrentía y la erosión del suelo parecen determinantes factores como: el patrón espacial de la superficie del suelo, características de pedregosidad, cobertura vegetal, costras, contenido de materia orgánica y repelencia del suelo al agua; todo ello afecta a la conectividad hidrológica y al transporte de sedimentos (Cammeraat y Imeson, 1998; Boix-Fayos et al., 2006). Se ha observado también como las tasas de erosión y la escorrentía aumentan durante los primeros años tras el abandono de las tierras, hasta que la vegetación se regenera (Cerdeira, 1997; Govers et al., 2006, Robledano et al., 2016), siempre que no se trate de sectores margosos (Romero Díaz et al., 2016). A escala de ladera se ha comprobado como las tasas de erosión en zonas de matorral (<0,1 t/ha/año) y en tierras de cultivo (~ 1 t/ha/año) son en general bajas, por el contrario, los sedimentos se acumulan detrás de las terrazas y en fondos de valles, que sólo son movilizados durante precipitaciones de alta intensidad. A escala de cuenca, las tasas de sedimentación en los embalses son más elevadas (2-5 t/ha/año), lo que sugiere que los barrancos y la erosión de sus márgenes son responsables de más del 50% del volumen total de los sedimentos (Poesen et al., 2003; De Vente et al., 2008). Los umbrales de precipitación para la generación de escorrentía se definen a diferentes escalas espaciales. La captación de escorrentías y sedimentos exportados

depende fundamentalmente de fenómenos extremos y están muy condicionados por la litología, topografía y el uso del suelo (Cammeraat, 2002; Bracken y Kirkby, 2005). Por último, la cubierta vegetal en los cauces tiene una influencia significativa sobre el impacto de las inundaciones mediante la protección de barras de canal y las riberas de los ríos de la erosión (Brookes et al., 2000).

Respecto a los aspectos socioeconómicos en los últimos siglos se han producido notables cambios que han conducido a la degradación de una extensa superficie de tierras. Ejemplos de tales cambios a gran escala son; el abandono campos de cultivo (Romero Díaz, 2016), la sustitución de tierras dedicadas a cereales de secano por plantaciones de almendros (Rojo Serrano, 2003), la extensa ampliación del regadío y la consecuente nivelación de tierras para la horticultura. El hecho de que en el año 1995 sólo el 37% del uso de la tierra era la misma que en 1957 ilustra la magnitud de cambio de uso del suelo (Cammeraat y Imeson, 1999). Uno de los principales impulsos de los cambios recientes lo constituyen las subvenciones a la agricultura hacia el uso de la tierra y tipos de estrategias de gestión que tienen como objetivo incrementar la situación económica de los agricultores y promover una menor intensidad de la agricultura en zonas marginales (Juntti y Wilson 2005). Sin embargo, se ha observado una disminución en el rendimiento de la cosecha de almendra (0,8 t/ha en 1960 a 0,4 t/ha en la década de 1990), lo que puede ser debido a la expansión de las plantaciones de almendros en zonas más marginales (Van Wesemael et al., 2003).

Las estrategias de conservación de suelos más importantes aplicadas por la administración en el Guadentín constarán de reforestaciones y construcción de presas de corrección hidrológica, pese a que estas estrategias no siempre son efectivas (Castillo et al., 2003, Romero Díaz et al., 2007a y Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008). Sin embargo, hay otras muchas estrategias de conservación aplicadas por los agricultores, como terrazas, barreras de piedra, recogida de aguas de invierno y cultivos de cobertura, que son potencialmente muy eficaces. Actualmente, la eficacia de las estrategias de conservación aplicadas a nivel local ha sido evaluada en el proyecto DESIRE ([www.desire-project.eu](http://www.desire-project.eu)).

### **3. RIESGOS DE AVENIDAS E INUNDACIONES**

#### **3.1. Las inundaciones del río Segura a lo largo de la historia**

Avenidas e inundaciones constituyen un riesgo hidrometeorológico complejo en el que factores climáticos, morfoestructurales, hidrogeomorfológicos y de uso del territorio, así como sus interacciones, desempeñan un papel importante (López-Bermúdez et al., 2002). A esta complejidad contribuye también que están controladas por procesos complejos y fuertemente no lineales, la heterogeneidad de las coberturas de las cuencas mediterráneas y que las tormentas que las producen pueden ser muy reducidas en el tiempo y en el espacio (Beven, 2002).

La primera avenida fechada en la Cuenca del Segura se produjo en 738 a.c. (Maurandi Guirado, 1995), la más reciente tuvo lugar el 22 de septiembre de 2012. López Bermúdez et al. (1978) contabilizan 111 entre 1260 y 1974, Milla Riera (1988) cuenta 214 entre 1482 y 1982, y Romero Díaz (2007) cuantifica un total de 238 inundaciones para el periodo 1143-2005. Son diversas las recopilaciones de noticias acerca de avenidas e inundaciones históricas en la cuenca del Segura: Couchoud Sebastiá y Sánchez Ferlosio (1984), Torres Fontes y Calvo García-Tornel (1975), López Bermúdez et al. (1978), Romero Díaz y Maurandi Guirado (2000), Conesa García y García García (2003), Romero Díaz (2007), Castejón Porcel y Romero Díaz (2014) o CHS (2016). Al margen de la dificultad de precisar una cifra exacta, ya que los criterios y las formas de ocupación del territorio han variado mucho a lo largo de los años, es evidente que se trata de un fenómeno recurrente en la cuenca. La figura 13 muestra el número de inundaciones por siglo desde el siglo XII y por décadas desde 1900 hasta la actualidad. Con todas las prevenciones necesarias al analizar recopilaciones de este tipo, parece que hay un cierto descenso desde los años cuarenta hasta la actualidad, salvo un pico en la década de los ochenta.



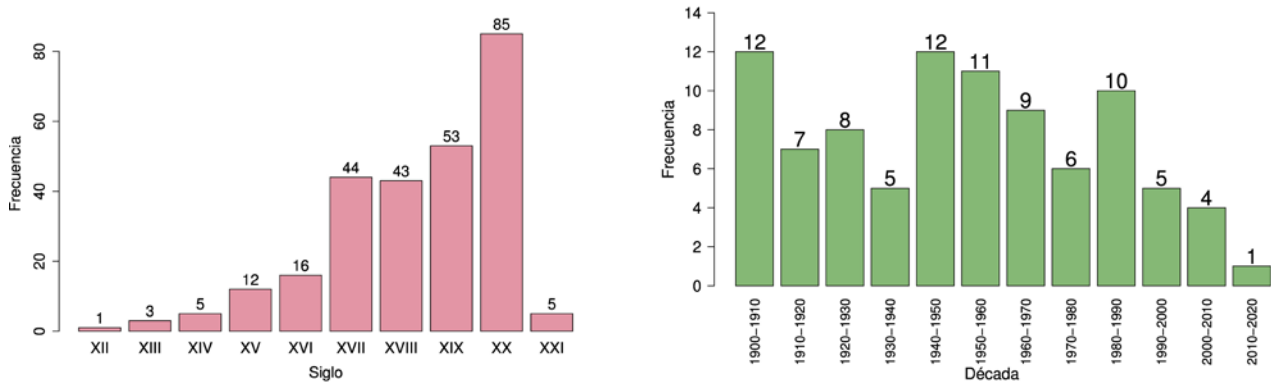


Figura 13: Distribución temporal de noticias sobre episodios de avenida o inundación.  
Fuente: Romero Díaz (2007) y CHS (2016).

Entre las características comunes a los episodios de avenidas e inundaciones destacan:

- Se presentan como consecuencia de temporales de lluvias intensas, generalmente en otoño (Figura 14);
- La duración media suele ser de tres o cuatro días, aunque pueden ocurrir en episodios mucho más cortos;
- Los daños materiales son principalmente en agricultura, aunque en las inundaciones de 1987 fueron muy importantes los daños en infraestructuras;
- Los caudales son generalmente de carácter repentino, como lo reflejan la mayoría de los hidrogramas de crecidas (Figuras 21, 24 y 25) y suelen producir caudales máximos instantáneos espectaculares.

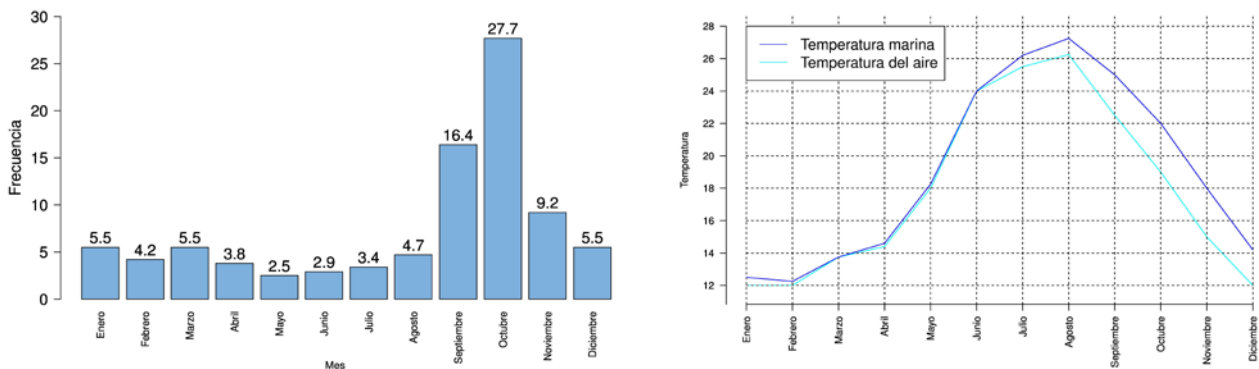


Figura 14: Distribución mensual de las inundaciones y temperatura marina y del aire en el Mediterráneo.  
Fuentes: Izquierda: Romero Díaz (2007); derecha: Quereda Sala et al. (2006).

El mapa de las zonas de riesgo de inundación en la Región de Murcia (Figura 15) muestra como los cauces de los ríos Mula y Guadalentín aparecen entre los afluentes en riesgo del río Segura. Siendo el cauce del Guadalentín, aguas arriba de Lorca, el único junto con el bajo Segura con riesgo elevado.

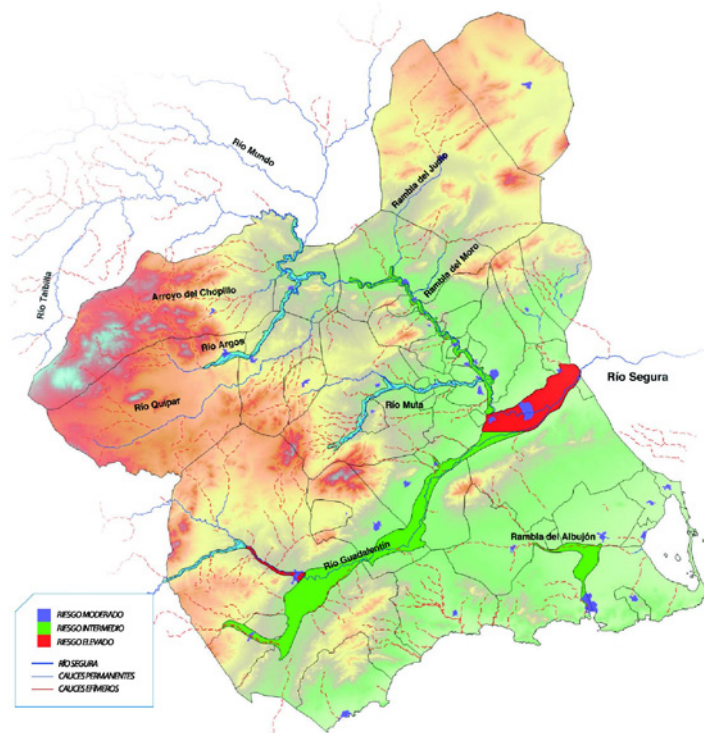


Figura 15: Zonas de riesgo de inundación en la Región de Murcia. Fuente: Romero Díaz (2007).

## 3.2. Causas de avenidas e inundaciones

Son varias las causas que dan lugar al fenómeno de las avenidas torrenciales. Así se pueden distinguir causas climáticas, hidrológicas, edafológicas, morfoestructurales y de ordenación del territorio.

### 3.2.1. Causas climáticas

Aún sin alcanzar valores tan elevados como los que se han registrado en la Comunidad valenciana, las precipitaciones recogidas en diferentes puntos de la Región de Murcia en diferentes episodios de precipitación extrema han superado frecuentemente los 100 mm en 24 horas. Destacan los 162,8 mm registrados el 23 de octubre del año 2000 en La Aljorra (Cartagena); los 183.4 en la Venta del Olivo (Cieza) el 7 de noviembre de 2006; los 159,8 mm otra vez en La Aljorra el 28 de septiembre de 2009; o los 180 mm en Puerto Lumbreras el 28 de septiembre de 2012. Estas precipitaciones, que pueden considerarse eventos extraordinarios, se han registrado en diversas ocasiones en la Región de Murcia teniendo como resultado avenidas e inundaciones.

Uno de los factores determinantes para explicar estas precipitaciones extremas es la temperatura superficial marina y el gradiente de temperatura entre la tierra y el mar (Millán et al., 1995) y entre el mar y el aire situado sobre él (Quereda Sala et al., 2006). Entre octubre y diciembre la temperatura media de la superficie marina es de 17,9°C mientras que la de la capa de aire es de 15,4°C. Este gradiente es ya un factor de convección potencial ya que determina una importante emisión de calor desde el océano hacia la atmósfera potenciando una activa convección (Quereda Sala et al., 2006).

Una situación sinóptica bastante habitual a final de verano y principios de otoño es la presencia de altas presiones en el continente europeo, acompañada en ocasiones de una baja térmica sobre África. Esta situación implica la entrada de aire frío y seco en el Mediterráneo. La base de esta masa de aire se calienta al pasar de una superficie continental fría a otra marina cálida. El calentamiento incrementa la inestabilidad de la masa de aire en la que el aire cálido de las capas bajas asciende rápidamente. Este ascenso se ve reforzado por el elevado gradiente de temperatura de la atmósfera y por la liberación de calor latente al alcanzarse el punto de condensación.

Como consecuencia, el Mediterráneo presenta una alta frecuencia de centros ciclónicos; muchos de ellos son solo mesoescales y de intensidad débil (Radinović, 1987; Genovés y Jansá, 1989), pero algunos de ellos son fuertes y cubren una amplia área (Radinović, 1987; [Alpert et al., 1990](#)). Incluso considerando solamente los ciclones macroescalares, la región mediterránea es una de las más ciclogénicas del mundo (Radinović, 1987, [Campins et al., 2000](#), [Llasat, 2009](#)).

Los ciclones profundos y a gran escala pueden generar situaciones de fuerte viento y lluvia intensa, pero incluso depresiones superficiales, pequeñas y poco profundas, pueden contribuir al inicio de un proceso de ciclogénesis más profunda y desencadenar episodios de precipitación intensa (Jansá et al., 1996, [2001](#), [Campins et al., 2000](#)) debido a su capacidad para mantener un flujo de aire cálido y húmedo desde la superficie marina hacia los núcleos convectivos donde se produce la precipitación. En muchos de los eventos de precipitación registrados en el Mediterráneo suele aparecer, un centro ciclónico cercano al evento y jugando un papel importante en el desencadenamiento y mantenimiento de la precipitación.

Otro factor habitualmente muy resaltado es la presencia de aire frío y presión baja en altura. Esta baja presión puede concretarse como una depresión aislada en niveles altos (DANA) o como una vaguada en la circulación zonal que dirige aire frío hacia la latitud peninsular. Estas situaciones aparecen cuando la corriente en chorro adquiere una circulación de bajo índice, es decir la circulación meridiana domina sobre la zonal, y aparecen senos de bajas presiones que muestran un importante descenso en latitud. Este descenso supone que, en su desplazamiento Oeste-Este deben recorrer más espacio, con lo que experimentan un retraso respecto al resto de la corriente localizada a mayor latitud. Este retraso las convierte en vaguadas retrógradas que pueden terminar por desgajarse de la circulación zonal formando una depresión fría en altura. Ambas situaciones suponen la entrada de aire frío continental que se desplaza de Oeste a Este pudiendo entrar en el Mediterráneo a través del Golfo de Cádiz y el Estrecho de Gibraltar.

Aunque, en principio, este tipo de depresiones no son detectables en superficie, la presencia de una depresión fría en altura puede incrementar el riesgo de ciclogénesis en superficie. Cuando se producen, suelen funcionar desplazando, en la baja troposfera, aire cálido y húmedo de origen atlántico hacia el Mediterráneo que, debido a la circulación antihoraria, acaba entrando en la Península y golpeando los relieves costeros. El obligado ascenso de la masa de aire puede ser suficiente para provocar la inestabilidad ([Llasat, 2009](#)).

Ambas situaciones, 1) anticiclón europeo con vientos del Este sobre la Península, y 2) presencia de aire frío y baja presión en altura, no son excluyentes, sino que es frecuente que ocurran al mismo tiempo. [Romero et al. \(1999\)](#), a partir de un análisis cluster de la distribución de precipitaciones extremas en la fachada mediterránea española y de otro para los tipos de tiempo, establecen las relaciones que aparecen entre tipos de tiempo y patrones de precipitación. El patrón caracterizado por precipitaciones torrenciales en la Región de Murcia se relaciona con tres tipos de tiempo que pueden clasificarse como circulación del Este en superficie con depresión fría en altura situada sobre el Golfo de Cádiz, el estrecho de Gibraltar o la Península ibérica (respectivamente) y un cuarto tipo que sería de circulación del este en superficie con circulación zonal en altura.

Tanto en situaciones de advección del este como en situaciones de borrascas en el Golfo de Cádiz o Estrecho de Gibraltar, un flujo de aire húmedo se dirige desde el Mediterráneo hasta el interior de la Región de Murcia y la disposición de las barreras orográficas obliga a estos flujos a ascender con lo que se reactiva la inestabilidad, de manera que la orografía y el flujo de calor latente intensifican el proceso de ciclogénesis ([Lionello et al., 2006](#)). Si la situación es persistente y la advección continua, se garantiza una recarga de aire cálido y húmedo desde el océano que permite que el fenómeno se sostenga en el tiempo.

Salvo en el sector más septentrional (cuenca del Río Mundo), el relieve de la Cuenca del Segura se organiza en un conjunto de sierras alineadas siguiendo la dirección general ENE-OSO de los Sistemas Béticos. Algunas de estas sierras alcanzan elevaciones importantes a escasa distancia de la costa: Las sierras de La Carrasquilla (879 m de altitud a 11 km de la costa) y Carrascoy (1.085 m a 39 km de la costa) constituyen el límite Sur de la Cuenca del Guadalentín, pero dejan espacios por los que pueden entrar las masas de aire marinas hasta las sierras situadas al norte de la cuenca o en su interior: Sierra de La Torrecilla (974 m a 38 km de la costa), Sierra Espuña (1.584 m a 40 km de la costa), Sierra del Cambrón (1.518 m a 95 km de la costa). Incluso entrando por el valle del Segura, las masas de aire, con dirección E-O pueden alcanzar Sierra Espuña y Sierra del Cambrón en solo 90 km.

La distribución espacio-temporal de la precipitación resultante de estas situaciones sinópticas puede ser muy variada. Pueden afectar a grandes superficies y prolongarse en el tiempo dando lugar a grandes inundaciones, o tratarse de aguaceros muy localizados en el tiempo y en el espacio que generan importantes precipitaciones y avenidas sobre una pequeña cuenca y apenas se perciben en las de alrededor (López Bermúdez et al., 1998c).

### 3.2.2. Capacidad de infiltración

Una vez que se ha producido una precipitación extrema, la cantidad de agua que se convierte en escorrentía depende de la capacidad de infiltración del suelo.

Tradicionalmente se ha asumido que en medios semiáridos la escorrentía es fundamentalmente de tipo hortoniano, es decir que la escorrentía se produce cuando la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo. Aunque Beven (2002) llega a la conclusión de que en invierno pueden aparecer mecanismos diferentes (flujo subsuperficial), los episodios de precipitación de alta intensidad en la Región de Murcia se producen tras el verano, con un mecanismo de infiltración básicamente hortoniano, debido a la intensidad de las precipitaciones. Existen diversos factores: litología, suelos, vegetación y usos del suelo, que contribuyen a que la capacidad de infiltración en medios semiáridos, y particularmente en las Cuencas de Mula y Guadalentín sea muy reducida.

Predominan rocas calizas, metamórficas, margas y depósitos cuaternarios. Las margas, presentes en las depresiones intramontañosas, son impermeables, lo que favorece las escorrentías; pero las calizas, que se suelen encontrar en la mayoría de las cabeceras de las cuencas, aunque se consideran permeables por las abundantes redes de diaclasas y planos de estratificación, ante lluvias de gran intensidad, se comportan también como impermeables, especialmente en aquellos sectores desprotegidos por la vegetación (Romero Díaz y Maurandi Guirado, 2000). En este sentido son bastante significativos los valores obtenidos por Segura Beltrán (1987), respecto a la cantidad de lluvia necesaria en ramblas de distinta litología para producir escorrentías (30 mm en ramblas margosas y de 65 mm en ramblas calizas). Las rocas metamórficas tienen también una escasa capacidad de infiltración, dando lugar a picos de escorrentía muy pronunciados.

Los suelos mediterráneos tienen una baja capacidad de infiltración debido a que se secan en verano y a procesos de sellado mecánico, por parte de partículas finas procedentes de la destrucción de los agregados del suelo, o químico, debido a la precipitación de sales disueltas en el agua evaporada desde el suelo. Por otro lado, la erosión del suelo aumenta la pedregosidad de la superficie del mismo lo que hace disminuir el coeficiente de escorrentía (Wainwright y Thornes, 2014).

La cubierta vegetal es escasa debido a una deforestación milenaria y a los frecuentes incendios, de ahí la necesidad de acometer trabajos de restauración hidrológico-forestales, a un ritmo mucho mayor de lo que se está haciendo y, en especial, con las técnicas adecuadas. El porcentaje de precipitación que se convierte en escorrentía crece de forma importante cuando la cobertura vegetal supera el 30 por ciento (Wainwright y Thornes, 2014). La vegetación, tanto arbórea como arbustiva, no sólo amortigua el impacto de la lluvia en el suelo, mediante su capacidad de interceptación (Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1999), sino que también reduce la escorrentía y su velocidad. Por otra parte, la existencia de una cobertura vegetal importante, reduce los arrastres (Romero Díaz et al., 1995 y 1998) y contribuye a ampliar la vida útil de los embalses, al impedir su aterramiento (López Bermúdez y Gutiérrez Escudero, 1983; Romero Díaz et al., 1992b). Se calcula que, tras una tromba de agua, una hectárea de bosque mediterráneo puede retener hasta 400 m<sup>3</sup> de agua. Las raíces y la cubierta vegetal ayudan asimismo a retrasar su evaporación. Según algunos estudios de ICONA, los efectos devastadores de la mayor parte de las inundaciones en las cuencas de Levante podrían disminuirse considerablemente si en las riberas existiera un bosque denso capaz de reducir la escorrentía en un 50% (Recuero, 1992). No obstante, existen discrepancias entre los especialistas sobre los efectos cuantitativos producidos por las repoblaciones y por las diversas actuaciones de conservación de suelos. El papel de la vegetación parece ser escaso en grandes avenidas, con importantes volúmenes de lluvias y de elevada intensidad, ya que se produce rápidamente la saturación del suelo. Por el contrario, se ha demostrado su eficacia en pequeñas avenidas, retrasando avenidas mayores, dando tiempo a los mecanismos de previsión y alarma, y disminuyendo la erosión (Ruiz de la Torre, 1987).

Otro factor importante puede ser la humedad antecedente ya que un episodio continuado de precipitación no muy intensa puede dejar el suelo encharcado de modo que pierda su capacidad de infiltración ante un episodio posterior más intenso.

Los cambios en los usos del suelo contribuyen a la disminución de la capacidad de infiltración. Los suelos cultivados tienen una menor capacidad de infiltración que las superficies naturales; sin embargo, el abandono no implica necesariamente una recuperación sino que en ocasiones puede resultar contraproducente (Romero Díaz, 2016). Especialmente grave es la urbanización e impermeabilización aguas arriba de núcleos urbanos.

### **3.2.3. Factores morfoestructurales**

Una vez generado un alto volumen de escorrentía debido a la alta intensidad de la precipitación y a la baja capacidad de infiltración, la velocidad con que la escorrentía se desplaza a los cauces y alcanza la desembocadura, su carácter torrencial en definitiva, depende de una serie de características morfoestructurales de origen fundamentalmente geológico y tectónico.

El rápido vaciamiento de las cuencas de Lorca y Mula, debido a la escasa resistencia mecánica que ofrecen estos materiales, ha favorecido los procesos de erosión y ha originado extensos paisajes abarrancados o de *badlands* (López Bermúdez y Romero Díaz, 1989). El resultado son cuencas con cabeceras redondeadas y redes de drenaje muy densas y torrenciales, cauces cortos de elevada pendiente y bajos coeficientes de bifurcación que permiten la llegada acelerada y superpuesta de los caudales procedentes de distintos sectores de la cabecera (López Bermúdez et al., 2002).

En la parte alta de estas cuencas torrenciales predominan cauces encajados con baja ratio anchura/profundidad, en los que el agua discurre con gran velocidad. Aguas abajo aparecen amplios lechos con una elevada ratio anchura/profundidad en los que se produce el aluvionamiento de materiales gruesos (cantos y gravas) muy permeables que favorecen el almacenamiento de agua subsuperficial (Thornes, 1980) generando además cauces rectos con pendiente constante (Martín Vide, 2003). Estos amplios lechos revelan los importantes caudales que pueden circular por ellos en épocas de crecida y el poder devastador de la carga sólida que pueden transportar, como se evidenció en la avenida de octubre de 1973 en la Rambla de Nogalte. Cuando discurren sobre abanicos aluviales, son especialmente dinámicos e inestables debido a la elevada pendiente que da lugar a importantes cambios morfológicos (López Bermúdez et al., 1998c).

En la cuenca del Guadalentín, la falla Norte tiene mayor intensidad que la Sur, por lo que los descensos de nivel de base son mayores en las ramblas que desaguan al valle por el Norte, por otro lado las cuencas de las ramblas al norte son también mayores. De esta manera los aparatos torrenciales que desaguan al Norte de la fosa tienen mayores caudales y mayor capacidad de transporte. El resultado es un relleno asimétrico y una gradación asimétrica desde los bordes hacia la zona central de la depresión (Conesa García et al., 1994).

Un caso peculiar es el de la Rambla de Nogalte (139 km<sup>2</sup>) que desciende de 1.060 metros de altitud hasta 360 metros en su abanico aluvial tras un recorrido de tan solo 30 km (2,3% de pendiente). La cabecera es muy extensa y torrencial, con cauces con pendientes superiores al 3% sobre materiales metamórficos (filitas y esquistos) del Alpujarride y Malaguide muy fracturados, por lo que hay una gran abundancia de material detrítico que explica el elevado porcentaje de aportes sólido (40% en la avenida de octubre de 1973). La brusca caída de la pendiente, a solo 1% en el abanico, supone un descenso de la capacidad de carga que genera un amplio abanico aluvial. Por otro lado, la alta permeabilidad de los materiales detríticos favorece la infiltración de grandes volúmenes de agua que le dan a la rambla un carácter endorreico, permitiendo desde antiguo el uso de galerías de captación muy elaboradas llamadas lumbreras (Gómez Espín, 2004). El uso intensivo de las aguas subterráneas para regadío hace que el acuífero esté hoy día sobreexplotado. A pesar de este carácter endorreico, en situaciones de avenida converge junto con la Rambla de Vilerda a través de la Rambla de Viznaga al cauce principal del Guadalentín.

### **3.2.4. Ordenación del territorio**

El concepto de riesgo no implica sólo la presencia de un peligro, sino también la existencia de una vulnerabilidad debido a la presencia y actividad humana en el área donde aparece ese peligro. A lo largo de la historia, los habitantes de las regiones en riesgo de avenidas e inundaciones han tratado de disminuir, en la medida de sus posibilidades, su vulnerabilidad mediante una gestión eficiente del territorio.

Romanos y árabes construyeron algunas obras de aprovechamiento de avenidas. En época árabe se construyeron los cauces de diseminación de avenidas que permitían, en el mínimo tiempo posible, derivar el agua cargada de tarquines a los regadíos más lejanos, reduciendo el efecto destructor de la avenida (Bautista Marín, 1989). Aún hoy, a lo largo de numerosas ramblas se pueden encontrar boqueras que aprovechaban el agua de avenidas para riego, al mismo tiempo que hacían disminuir el caudal (Morales Gil, 1969 y 1989; López Bermúdez, 2014).

Diversas técnicas agrícolas tradicionales han contribuido, a lo largo de la historia, a controlar parcialmente las avenidas (Morales Gil, 2006). Por ejemplo, las terrazas en las laderas aumentaban la capacidad de infiltración, las boqueras en los valles desviaban las ondas de crecida y en las huertas, el desarrollo de redes de acequias y azarbes contribuían a una más rápida evacuación de la avenida. Por otra parte, se seleccionaban cultivos adaptados (cereales sembrados en invierno para aprovechar el aporte de agua y nutrientes de las avenidas de otoño), se marcaba el parcelario con árboles (palmeras, higueras, olivos, moreras, vides) capaces de resistir la fuerza de la avenida y a la vez aprovechar sus aguas. Finalmente, para disminuir la vulnerabilidad, los núcleos urbanos se ubicaban en las zonas más altas o en su defecto se construían obras de defensa como malecones. La ciudad de Murcia es un buen ejemplo de esto último.

Sin embargo, el abandono de los paisajes agrarios tradicionales en los últimos cincuenta años, por pérdida de rentabilidad o por el avance urbanizador, y la despoblación de amplios sectores de secano han llevado al abandono de las técnicas tradicionales de acondicionamiento agrícola (Calvo García-Tornel, 2006 y Morales Gil, 2006) sustituidas por una aproximación más ingenieril al problema.

La proliferación de infraestructuras de laminación y control de avenidas durante el siglo XX ha bajado la percepción del riesgo por parte de la sociedad (Calvo García-Tornel, 1982, 1984; Roselló, 1985; Wainwright y Thornes, 2014) lo que ha favorecido una progresiva ocupación de los llanos de inundación, primero con cultivos y después con asentamientos humanos. La mayor parte de la población se asienta en llanuras litorales o en valles interiores que actúan como vías de comunicación. Allí se localizan grandes centros urbanos e industriales y la agricultura de alto rendimiento. Mula y Albudeite en la orilla del río Mula, Lorca sobre el río Guadalentín y Puerto Lumbreras sobre la Rambla de Nogalte (López Bermúdez et al., 1998c).

En todo caso, gracias a las obras de defensa contra avenidas e inundaciones, hoy en día el problema no está tanto en los principales cauces como en los cauces menores y ramblas. En los últimos 50 años, el 94 % de las víctimas en desastres por inundación se producen en inundaciones relámpago en pequeñas cuencas donde la prevención debiera venir, más que de las obras, de una adecuada ordenación del territorio (Ayala-Carcedo, 2002). En la cuenca del Guadalentín, se trata de sectores colonizados en época reciente por un acceso fácil a los recursos hídricos (subterráneos o trasvasados) junto con sectores de desarrollo urbano o industrial son los nuevos territorios de riesgo (Calvo García-Tornel, 2006). Es frecuente encontrar, por ejemplo, grandes explotaciones agrarias en los piedemontes de amplios sectores aluviales procedentes de torrenteras no integradas en la red hidrográfica. En estos abanicos pueden aparecer fenómenos de arroyada en manto que no consiguen conectar con su nivel de base y se esparcen de forma divergente sobre los aluviones (Calvo García-Tornel, 2006). En estos sectores, lluvias breves e intensas afectando a sectores no muy extensos pueden provocar numerosas y pequeñas inundaciones dañando cultivos y generando problemas en las comunicaciones. Especialmente si las precipitaciones se concentran aguas abajo de los embalses (Pérez Morales, 2008)

El abandono de áreas de cultivo en las inmediaciones de los núcleos de población aumenta la escorrentía en la periferia de estos. Aún contando con actuaciones de defensa contra las avenidas, las lluvias torrenciales en pequeñas áreas con avenamientos desorganizados pueden inundar espacios de reciente urbanización (Morales Gil, 2006). El riesgo se incrementa por el aumento de la población y sobre todo en la población urbana en urbanizaciones de la periferia y en viviendas secundarias (Calvo García-Tornel, 2006; Pérez Morales et al., 2016)

Entre las actuaciones improcedentes en las nuevas áreas urbanizadas cabe destacar: las canalizaciones insuficientes, la manipulación de márgenes, la obstrucción de los lechos e incluso la construcción en los mismos. Por otro lado, se modifican los aprovechamientos agrícolas tradicionales, se deforestan las áreas montañosas inmediatas, se utilizan los cauces fluviales aguas arriba como vertederos, cambia la percepción

humana del medio físico y aparecen urbanizaciones en espacios periurbanos carentes de planificación o evacuación de aguas residuales y pluviales (Morales Gil, 2006).

### **3.3. Acciones de defensa contra las avenidas**

#### **3.3.1. Obras de infraestructura**

Maurandi Guirado en 1995 hizo una síntesis de la evolución de las obras hidráulicas en la cuenca del Segura de la que pueden extraerse las correspondientes a las cuencas de Mula y Guadalentín. La primera obra importante que se acometió fue en 1647, con la construcción del embalse de Puentes (en la cabecera del río Guadalentín), cuyas obras fueron destruidas un año después por una avenida. El canal del Paretón se proyecta en el siglo XVII y el del Reguerón en el XVIII, aunque no se construirían hasta bastante después. En 1785 se empiezan las presas de Valdeinfierno y la segunda de Puentes que entran en funcionamiento en 1787, aunque en marzo de 1802, a consecuencia de intensas lluvias, la presa de Puentes se rompió produciendo una gran catástrofe. La riada de Santa Teresa, el 15 de octubre de 1879, aceleró la construcción del nuevo embalse de Puentes (tercera presa), que se empieza a explotar en 1884.

En 1886, dos años después de otra importante riada, se redactó el "Proyecto de Obras de Defensa contra las inundaciones en el Valle del Segura" que incluía varias obras en la cuenca del Guadalentín:

- Rehabilitación y recrecimiento de la Presa de Valdeinfierno en 1897. En la década de los 60 se le construyó un aliviadero y se recreció un metro pero en la actualidad está casi totalmente aterrada.
- Aliviadero de Puentes, modificado posteriormente en los años 60.
- Canal del Paretón, para derivación del río Guadalentín, para un caudal de 200 m<sup>3</sup>/s
- Canal del Reguerón, para derivación del río Guadalentín, para un caudal de 150 m<sup>3</sup>/s
- Corrección hidrológica de torrentes en los ríos Luchena y Velez (cabecera del río Guadalentín), y de otras ramblas de la cuenca baja del Guadalentín. Este último no se llegó a realizar.

El plan de defensa de 1977, aprobado tras la riada de la rambla de Nogalte en octubre de 1973, y el Real Decreto Ley de 13 de Noviembre de 1987 incluían las siguientes actuaciones:

- Presa del Romeral, situada en el río Guadalentín aguas abajo de la confluencia con la Rambla de Algeciras, se proyectó para defender el tramo de la cuenca del Guadalentín comprendido entre el Paretón y Murcia.
- Presa del río Pliego poco antes de su desembocadura con el río Mula.
- Presa de Los Rodeos en el cauce del río Mula poco antes de su desembocadura en el Segura.
- Nueva presa de Puentes, desestimándose el recrecimiento contemplado en el plan de Defensa de 1977, construida inmediatamente aguas arriba de la presa anterior.
- El embalse de La Cierva en el río Mula se ha recrecido 6,5 metros el cierre.
- Embalse de Los Rodeos en el río Mula, cerca de su confluencia con el Segura.
- Embalses de Pliego y Doña Ana, situados en el río Pliego, el afluente más peligroso del río Mula.
- Presa de Algeciras, situada en la rambla homónima, afluente del río Guadalentín. Esta presa está concebida como defensa y regulación de las aguas del trasvase.
- Acondicionamiento del canal del Paretón para desvío de las aguas del Guadalentín al mar, para una capacidad de 800 m<sup>3</sup>/s.
- Acondicionamiento del río Guadalentín y rambla de Tiata en Lorca.
- Acondicionamiento del canal del Reguerón.

Además de todas estas soluciones estructurales, se inicia la construcción de Servicio Automático de Información Hidrológica (SAIH). Se trata de una red de captación y transmisión en tiempo real de datos pluviométricos y foronómicos que pueden alimentar en tiempo real modelos hidrológicos cuyas salidas permiten detectar avenidas de forma temprana, optimizar la gestión de las obras de laminación y regulación y anticipar las medidas de protección de la población que sean necesarias.

Aunque las obras de infraestructura pueden considerarse exitosas en cuanto que han conseguido disminuir la exposición al riesgo en buena parte de la cuenca, plantean algunos problemas:

- Un problema habitual con los embalses es que su papel contradictorio de regulación y laminación de avenidas dificulta su gestión que debe adaptarse a la evolución del episodio lluvioso (Calvo García-Tornel,

2006).

- Los trabajos de acondicionamiento de cauces se centran en tramos concretos, en zonas densamente pobladas (paso por ciudades) descuidando el drenaje conjunto (Calvo García-Tornel, 2006).
- Un canal puede haber sido infradimensionado, lo que no resulta sencillo de solucionar. Las opciones pueden ser la eliminación de sedimentos y el incremento de la profundidad o de la altura de las márgenes (López Bermúdez et al., 2002)
- Las obras de infraestructura, al incrementar la protección disminuyen la sensación de riesgo (Calvo García-Tornel, 2006, Thornes et al., 2009).

### 3.3.2. Restauración hidrológico-forestal

El plan de 1987 incluía, en una segunda fase, una serie de trabajos hidrológico-forestales (corrección de ramblas y barrancos y repoblación de las cabeceras). Con la forestación de las cabeceras de los aparatos torrenciales se trata de propiciar una cubierta vegetal que reduzca la escorrentía y frene la erosión. Con las obras de corrección hidrológica (diques de mampostería o gaviones, albarradas y cadenas) se pretende disminuir las ondas de avenida y amortiguar sus efectos, el aterramiento de los embalses por ejemplo. Se trata de una actuación fundamental, pero desgraciadamente a largo plazo, por lo que no siempre suele tener la atención necesaria de los Poderes Públicos. En la cuenca del Segura es habitual realizar casi totalmente las obras estructurales proyectadas dejando para una segunda fase los trabajos de restauración hidrológico-forestal, a pesar de que la ley de aguas hace de la conservación del medio ambiente hidráulico y de la reforestación una de las prioridades de la planificación hidrológica.

Entre 1889 y 2002 se llevaron a cabo 62 proyectos de restauración en el Guadalentín (globales o en subcuencas concretas) y se probaron diferentes técnicas de forestación. De acuerdo con Martínez Artero (2001) o Rojo Serrano (2002), las técnicas mecánicas han resultado más eficientes que las manuales para disminuir las escorrentías y retener el agua en el suelo. Sin embargo, trabajos más recientes han mostrado que ni las repoblaciones (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008) ni los diques de corrección hidrológica (Romero Díaz, 2007) han tenido siempre los efectos deseados, en parte por el uso de técnicas mecánicas muy agresivas en las primeras, o por los procesos de erosión que la misma construcción de los diques ocasiona (Belmonte Serrato et al., 2005).

*Pinus halepensis* es la especie más utilizada por su carácter mediterráneo y heliófita, que le hace ser un buen colonizador. Se argumenta (Martínez Artero, 2001 y Rojo Serrano, 2003) que en muy pocas partes de la cuenca pueden prosperar plantones de caducifolias como *Quercus rotundifolia*, pero que una vez que los pinares hayan creado las condiciones apropiadas para las caducifolias, serán sustituidos por estas. Reconociendo que, en las peores condiciones edáficas y climáticas de la cuenca resulta imposible la repoblación con *Pinus halepensis*. En algunos casos los resultados a medio plazo de estas forestaciones (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2008), llevan a la conclusión de que hubiese sido preferible revegetar con especies de matorral autóctono e incluso dejar el matorral existente y no realizar las forestaciones.

## 3.4. EJEMPLOS DE AVENIDAS

La tabla 10 resume las inundaciones más importantes del siglo XXI en la Región de Murcia. Dos de ellas, la de 16-17 de octubre de 2003 y la de 28 de septiembre de 2012 se estudiarán con cierto detalle por haber tenido una importante repercusión en las cuencas estudiadas. No obstante, primero se mencionará la avenida de la rambla de Nogalte de 1973, quizás la más emblemática de las acaecidas en la Región de Murcia en los últimos 50 años.



Tabla 10: Inundaciones más importantes registradas en la Región de Murcia en el Siglo XXI.  
Fuente: Castejón Porcel y Romero Díaz (2014).

Nº	Día	Mes	Año	Área de afección principal
1	22-23	Octubre	2000	Cuenca del Guadalentín y Campo de Cartagena
2	16-17	Octubre	2003	Cuenca de Mula, Rbla. Salada y parte Cuenca del Guadalentín
3	28	Septiembre	2009	Bajo Segura y Campo de Cartagena
4	17	Agosto	2010	Ramblas de Mazarrón y Águilas
5	18-23	Noviembre	2011	Segura Medio, Cuenca de Mula y Campo de Cartagena
6	28	Septiembre	2012	Cuenca del Guadalentín y Cuenca de Mula

### 3.4.1. La avenida de 18-19 de octubre de 1973

Este episodio se originó con la formación el día 16 de una vaguada en la circulación zonal que terminó formando una depresión fría que se intensificó y desplazó al Golfo de Cádiz los días 18 y 19. En superficie aparecía una pequeña depresión centrada entre el Cabo de Gata y el Norte de África que propiciaba la entrada de vientos del Este entre el Cabo de Gata y el de la Nao (Conesa García, 1985). El temporal resultante afectó a la práctica totalidad de la Cuenca del Segura, alcanzándose los 250 l/m<sup>2</sup> en el Valle del Guadalentín (López Bermúdez et al., 1978).

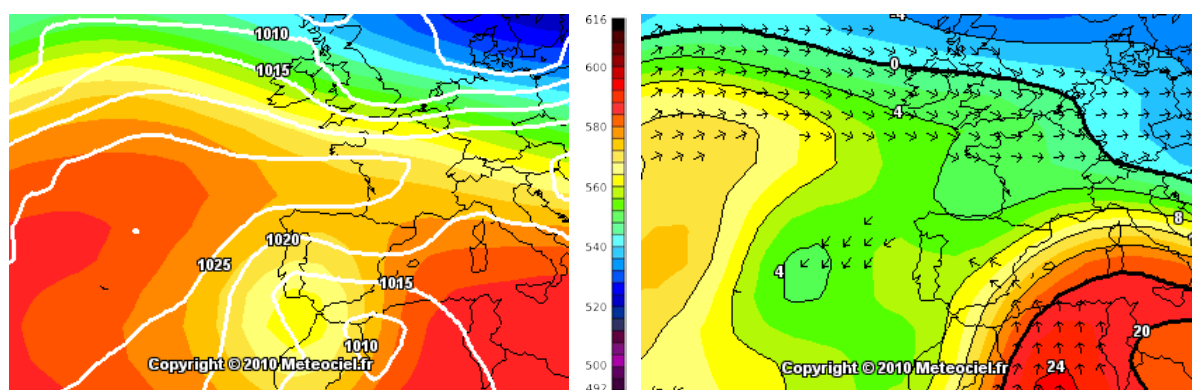


Figura 16: Situación atmosférica el 19 de octubre de 1973. Fuente: www.meteociel.fr

En Lorca el Río Guadalentín inundó la ciudad y las huertas circundantes. La Rambla de Nogalte (Figuras 17 y 18) alcanzó un caudal pico de 2000 m<sup>3</sup>/s de los que 800 eran caudales sólidos. En total pasaron por Puerto-Lumbreras 12 Hm<sup>3</sup> de agua de los que 8000 m<sup>3</sup> eran material sólido (López Bermúdez et al., 1978).

Se inundó gran parte de la huerta de Murcia desde Sangonera la Verde a la Vega Baja, la avenida procedente del Guadalentín se solapó, parcialmente con otra procedente del río Segura lo que multiplicó sus efectos catastróficos. Sin embargo, los mayores daños ocurrieron en Puerto-Lumbreras donde murieron 86 personas.

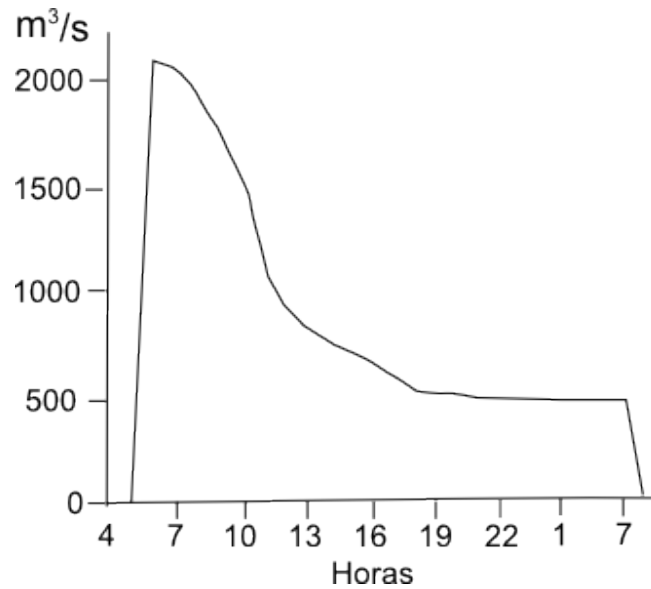


Figura 17: Hidrograma de la Rambla de Nogalte los días 18 y 19 de octubre de 1973.



Figura 18: Rambla de Nogalte a su paso por Puerto Lumbreras después de la avenida de octubre de 1973.  
Fuente: Paisajes españoles.

### 3.4.2. La avenida del 16-17 de octubre de 2003

El día 16 de octubre de 2003 se observa en superficie una depresión en la costa oeste peninsular, así como una circulación zonal de bajo índice con dos vaguadas o senos muy importantes, una al norte de Las Azores y otra al este de Escandinavia. En la topografía de 500 hPa se intuye un vórtice frío en altura, al noroeste de Lisboa, que introduce sobre la Península vientos del suroeste.

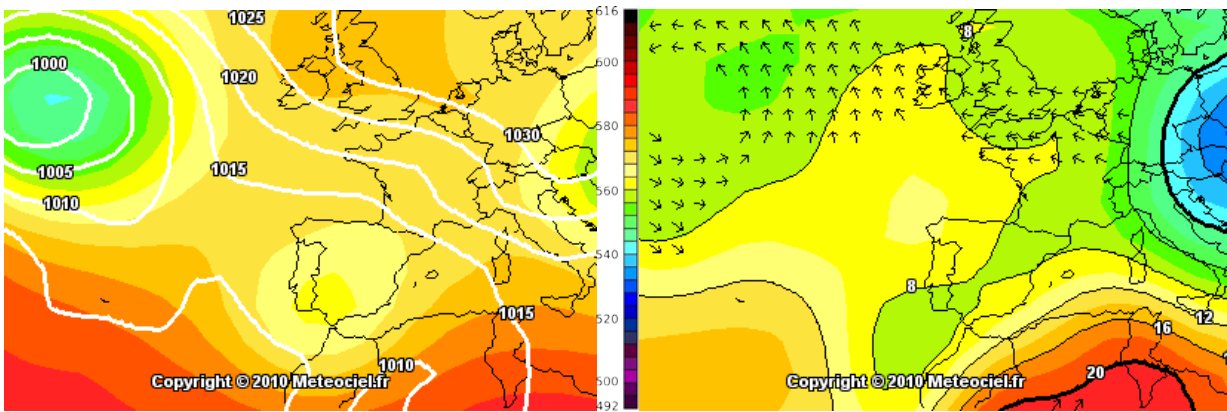


Figura 19: Situación atmosférica el 17 de octubre de 2003 a las 00:00. A la izquierda isobaras superficiales e isohipsas en la topografía de 500 hPa (escala de colores). A la derecha temperatura a 850 hPa. Fuente: [www.meteociel.fr](http://www.meteociel.fr)

El día 17 (Figura 19), la vaguada al norte de Las Azores ha sufrido un estrangulamiento, desgajándose de la circulación zonal una depresión que llegará a profundizarse hasta 995 mb en su centro. Por otro lado, en altura, el vórtice frío, visible ya el día 16, se desplaza hacia el sureste, situándose entonces sobre el suroeste de la Península Ibérica. La presencia de una depresión fría en altura provoca la advección del sur-sureste sobre la Región de Murcia supone la entrada de aire cálido y húmedo. El Mediterráneo actúa así como una fuente de vapor que alimenta los procesos convectivos que se verán reforzados por el ascenso impuesto por los relieves hacia los que se dirige la masa de aire. Estas son las principales causas de los elevados valores de precipitación.

Tanto el día 16 como el 17 de octubre registraron importantes precipitaciones en numerosos puntos de la Región de Murcia (Figura 20). Se observa una importante concentración de precipitación en 4 células, la más importante de ellas se sitúa sobre la parte central de la cuenca del río Mula. En el primer día, las lluvias fueron más significativas que en el segundo, alcanzándose 92 mm en 24 h en La Pilica (Las Torres de Cotillas) y 67 mm en El Llano (Molina de Segura). Por otro lado, en estaciones tan dispersas como Balsapintada (Fuente Álamo de Murcia), Roche (La Unión), Yéchar (Mula) y Campotéjar (Molina de Segura) se superaron los 30 mm de lluvia en 24 h. Un día después, el 17 de octubre, se llegaron a registrar valores pluviométricos de hasta 50,8 mm en Yéchar (Mula) y 43,2 mm en Las Encebras (Jumilla).

La figura 21 muestra la precipitación horaria acumulada durante los días 16 y 17 en los pluviómetros del SAIH en torno a la cuenca del río Mula. Aunque las precipitaciones son elevadas en todos ellos, destaca el pluviómetro asociado al aforo del río Mula que registró 120 mm en tan solo 2 horas. Como consecuencia, el hidrograma registrado (en la misma figura) experimentó una importante crecida pasando de 0 m<sup>3</sup>/s a las 19:00 h a un caudal punta de 361,35 m<sup>3</sup>/s a las 21:00 h. Más tarde, tras un descenso continuado del caudal, volvió a darse otro pico pasando de 5,34 m<sup>3</sup>/s a las 7:00 h del día 17 de octubre, a los 74,66 m<sup>3</sup>/s, tan solo dos horas después, a las 9:00 h. Este segundo pico se debe a que el interior de la cuenca (pluviómetros del Embalse de la Cierva y Pliego) se registraron máximos (menores) de precipitación unas 10 horas después que el del río Mula. Por otro lado, en Rambla Salada (entre las cuencas de los ríos Mula y Guadalentín) también se registraron caudales excepcionales de 336,6 m<sup>3</sup>/s.

Los daños sufridos en Albudeite y Campos del Río fueron considerables debido a la enorme cantidad de agua que circulaba por el río Mula. Antes de la confluencia del río Mula con el río Segura, el primero fue laminado por el embalse de Los Rodeos, que se encontraba prácticamente vacío. En el azud de la Contraparada (a 13 km de la ciudad de Murcia), el pico de caudal fue de 445,1 m<sup>3</sup>/s a las 23:00 horas, por lo que en este punto se tuvo que derivar caudal por las acequias de riego, debido a que la canalización actual del río Segura sólo admite un caudal máximo de 400 m<sup>3</sup>/s. En Albudeite y Campos del Río el agua superó los puentes existentes, desbordó y rompió los muros de contención entró en numerosas viviendas y hubo que lamentar la muerte de una persona. Esta riada supuso también un incremento de los procesos de erosión en la cuenca margosa de Mula. Mientras que un efecto positivo fue el aumento del agua almacenada en los embalses en 6,57 Hm<sup>3</sup>.

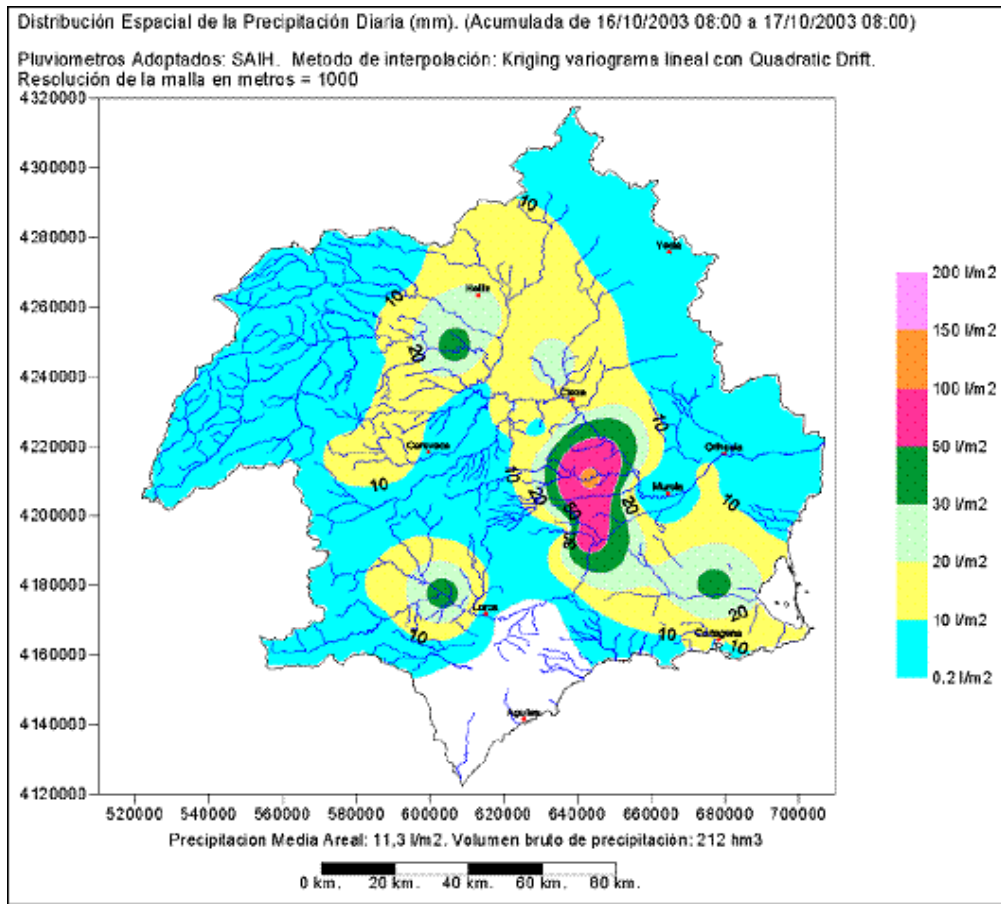


Figura 20: Distribución espacial de la precipitación diaria acumulada de 28/09/2012-29/09/2012  
Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

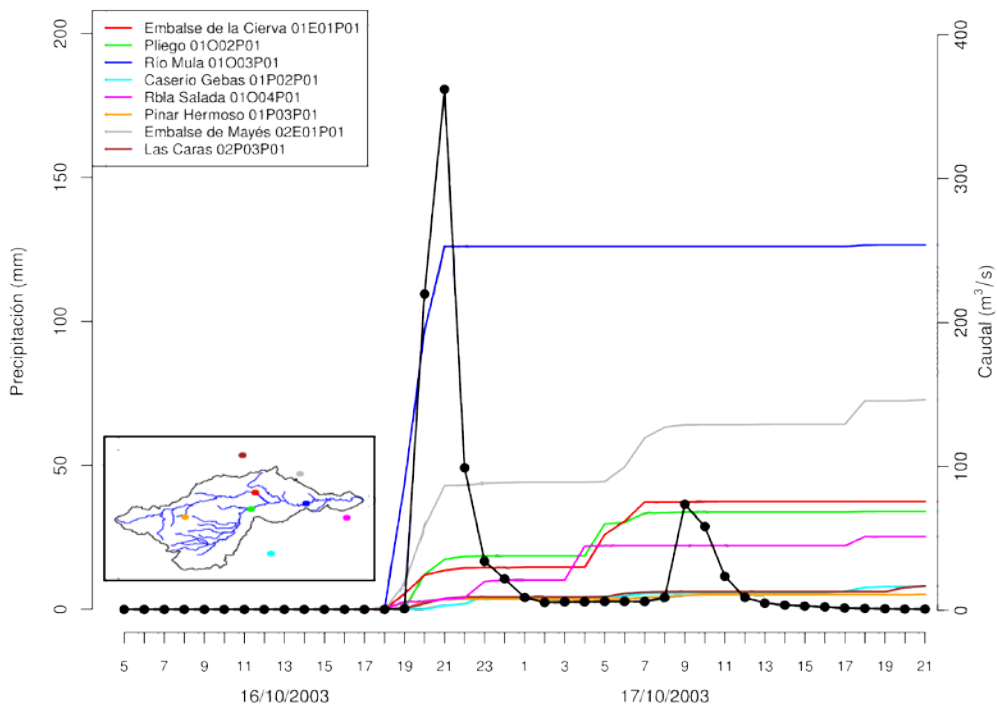


Figura 21: Hidrograma del Río Mula 16/10/2003-17/10/2003. La línea negra punteada representa el hidrograma en el aforo del río Mula (punto azul sobre el mapa) y el resto de las líneas representan los yetogramas registrados en los pluviómetros cercanos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura.

### 3.4.3. La avenida del 28 de septiembre de 2012 (Riada de San Wenceslao)

El día 27 de septiembre, se genera un vórtice frío al oeste de Portugal que, con el paso de las horas, se desplaza hacia el sureste de la Península, favoreciendo la penetración de vientos de levante en España y generando así una fuerte inestabilidad que se tradujo el día 28 en copiosas precipitaciones, seguidas de importantes avenidas e inundaciones.

Esta situación sinóptica dejó elevados valores pluviométricos en toda la Región de Murcia. Al analizar las figuras 22 y 23, llama la atención los valores muy próximos o superiores a 100 mm registrados en gran parte de las cuencas de Mula y Guadalentín. Estas cifras fueron muy importantes, pero también lo fue la homogeneidad de las precipitaciones, puesto que fueron muy copiosas en casi toda la Región, registrándose una media en todas las estaciones de más de 70 mm. Pero, sin duda, el área que recibió las precipitaciones más abundantes fue la cuenca alta del río Guadalentín, registrándose en Puerto Lumbreras 170 mm.

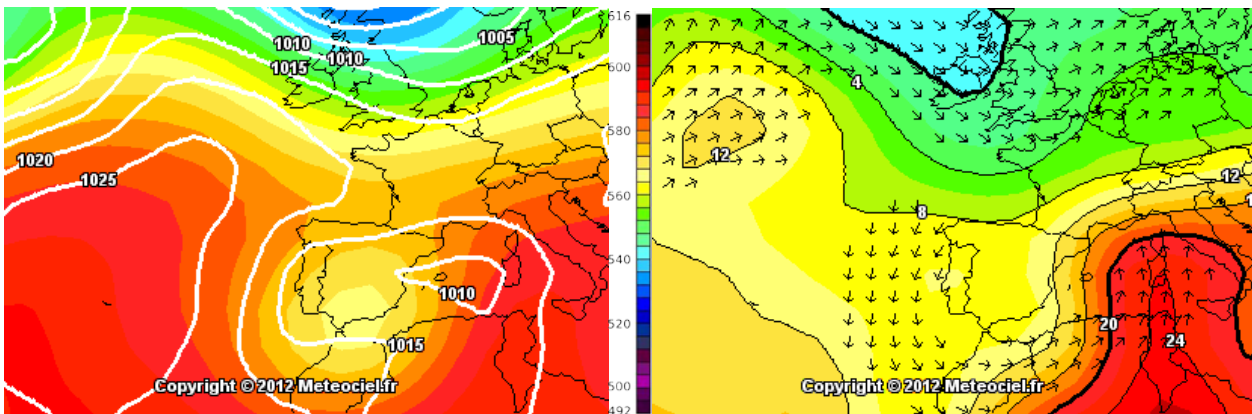


Figura 22: Situación atmosférica el 29 de septiembre de 2012 a las 00:00. A la izquierda isobaras superficiales e isohipsas en la topografía de 500 hPa (escala de colores). A la derecha temperatura a 850 hPa.

Fuente: [www.meteociel.fr](http://www.meteociel.fr)

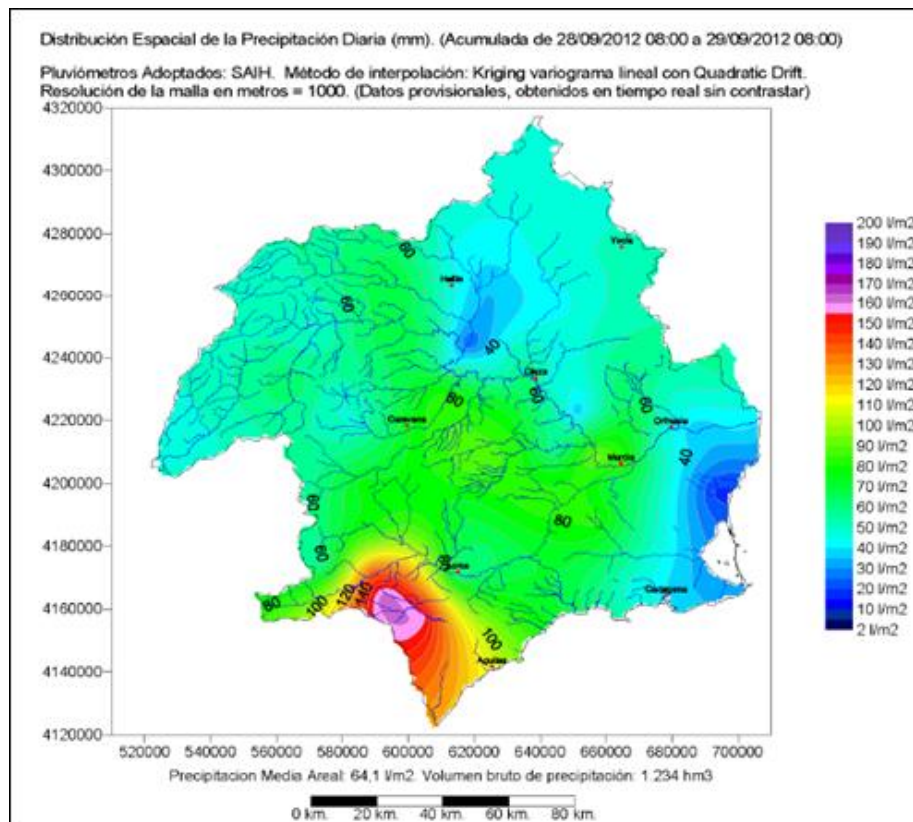


Figura 23: Distribución espacial de la precipitación diaria acumulada de 28/09/2012-29/09/2012  
Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

El hidrograma de la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras) (Figura 24) muestra una súbita crecida (flash-flood), en una hora se pasó de 7,4 m<sup>3</sup>/s (12:00 h) a 2.356,7 m<sup>3</sup>/s (13:00 h). Estas cifras de caudales no quedan lejos de las que se registraron también en esta misma rambla en octubre de 1973 (1.974 m<sup>3</sup>/s), o en inundaciones anteriores, con consecuencias devastadoras y catastróficas, aunque en aquella ocasión la rambla no estaba encauzada a su paso por Puerto Lumbreras. La figura 25 muestra la violencia del Río Guadalentín a su paso por Lorca (izquierda) y de la Rambla de Nogalte a su paso por Puerto Lumbreras (derecha).

Por último, el hidrograma del pequeño Río Pliego (Figura 26) también desvela una importante crecida del caudal. En este caso, de las 15:00 h a las 17:00 h se produjo un incremento del caudal desde los 0 m<sup>3</sup>/s a los 116,3 m<sup>3</sup>/s que fue el caudal punta de esta avenida.

Toda la Región de Murcia se vio sacudida por importantes avenidas e inundaciones pero, sin duda, fue en Lorca y Puerto Lumbreras en donde las consecuencias fueron más graves, hasta el punto de que se constituyó la “Plataforma de afectados por la inundación del 28S 2012” debido a las miles de hectáreas que quedaron inundadas, produciéndose la muerte de centenares de animales de numerosas granjas y la pérdida de un alto número de cosechas y bienes. Quizás, la imagen de esta gran avenida fuese la destrucción del puente de la autovía A-7 que conectaba Lorca con Puerto Lumbreras (Rambla de Béjar) o el imponente caudal de la Rambla de Nogalte a su paso por Puerto Lumbreras. Además, otros municipios como Fuente Álamo de Murcia, Cartagena, Murcia, Mazarrón, etc., también sufrieron importantes inundaciones.

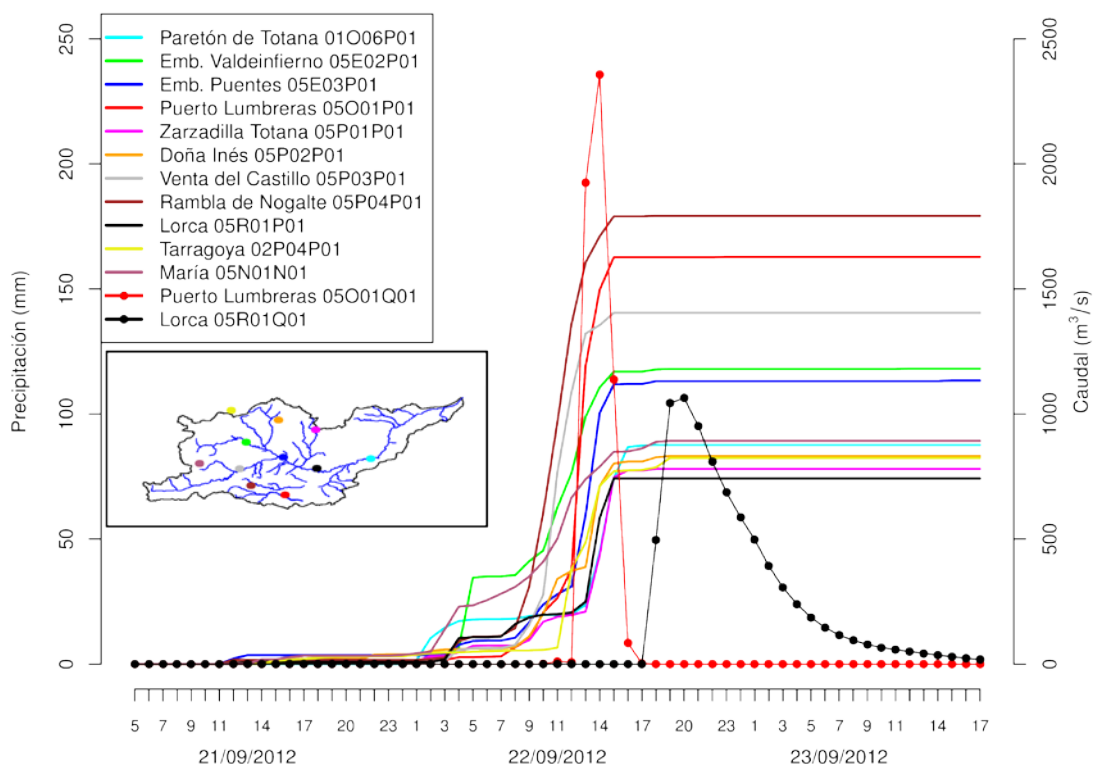


Figura 24: Hidrograma de la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras y Lorca -Paretón de Totana) y de la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras) 28/09/2012-30/09/2012. La línea roja punteada representa el hidrograma en el aforo de la rambla de Nogalte (punto rojo sobre el mapa) y la línea negra punteada el aforo sobre el río Guadalentín en Lorca. El resto de las líneas representan los yetogramas registrados en los pluviómetros cercanos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura.

El Embalse de Puentes recibió 10 hm<sup>3</sup> en apenas cinco horas, cifras muy considerables y que refuerzan la importancia de las infraestructuras hidráulicas a la hora de luchar contra los riesgos por inundación.

En total, según algunas estimaciones, en toda la Región de Murcia tres personas murieron, 15.000 viviendas se vieron afectadas por las inundaciones, así como 2.000 comercios, 3.400 vehículos y 26.000 hectáreas de cultivo. Las imágenes recogidas en la figura 26, hablan por sí solas de la cantidad de agua que circuló por los cauces, la energía con la que circulaba y la cantidad de sedimentos que arrastraba.



Figura 25: Izquierda: Río Guadalentín a su paso por Lorca. Derecha: Rambla de Nogalte en Puerto Lumbreras. Fuente: La Verdad.

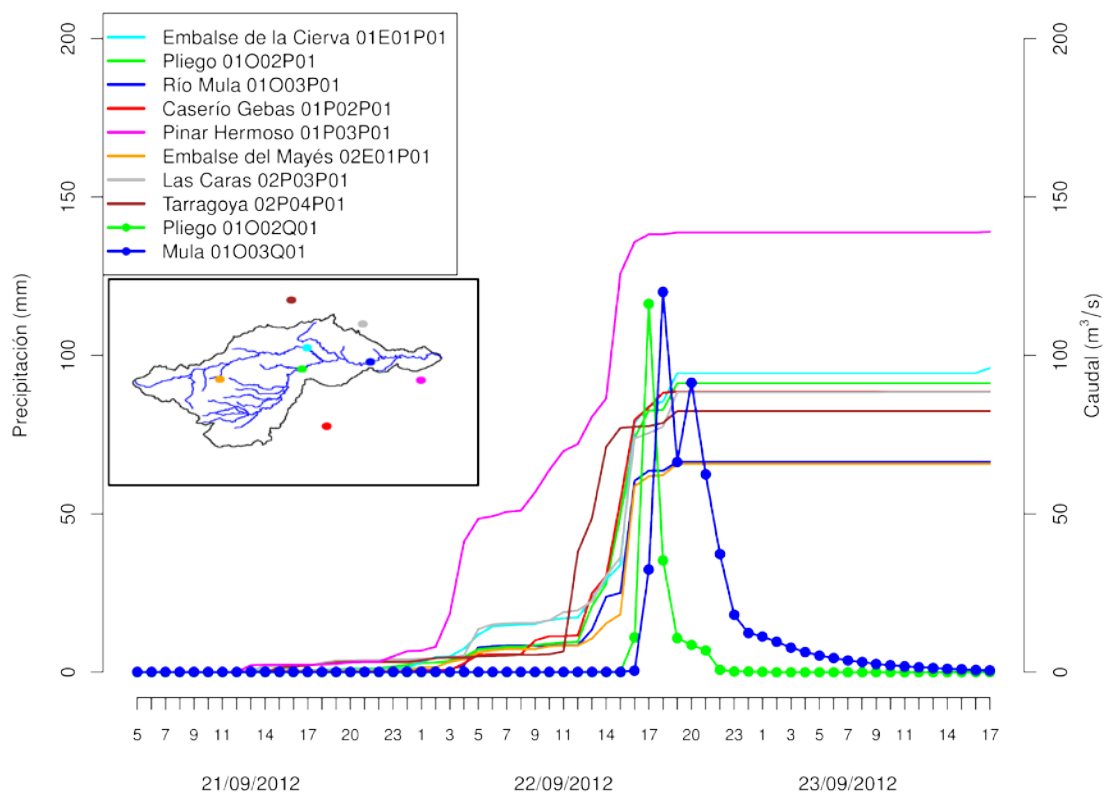


Figura 26: Hidrograma del Río Pliego 28/09/2012-30/09/2012. La línea verde punteada representa el hidrograma en el aforo del río Pliego y la azul la del río Mula (puntos verde y azul respectivamente sobre el mapa) y el resto de las líneas representan los yetogramas registrados en los pluviómetros cercanos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Segura.

#### 4. RIESGO SISMICO

El sureste español presenta una actividad sismotectónica media que la sitúa entre las zonas más activas del Mediterráneo Occidental pero, sobre todo, del territorio español. Desde época preinstrumental existen registros sobre catástrofes relacionadas con fenómenos de liberación de energía asociados a la existencia de un sistema de fallas activas que hacen de este peligro una constante en el territorio en cuestión. Desafortunadamente, y pese a la fuerte presencia de este fenómeno natural, la adaptación de la población a

dicho peligro no ha evolucionado de la forma necesaria para favorecer un proceso de ocupación ajustado a este tipo de limitaciones naturales. Más bien, todo lo contrario, el uso antrópico de estos territorios, especialmente intenso en los últimos sesenta años, ha terminado por acentuar de forma alarmante lo que llamamos el riesgo sísmico. Entendemos éste último término como: la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto iguallen o excedan valores de seguridad predeterminados para una localización o área geográfica dada. De acuerdo a esa conceptualización, podríamos simplificarla en la siguiente formulación (Cardona, 2001):

$$\text{Riesgo sísmico} = \text{peligro} * \text{vulnerabilidad} \quad (1)$$

Donde, peligro sísmico es la probabilidad de que los parámetros que miden el movimiento del suelo (aceleración e intensidad) sean superados en un determinado periodo de tiempo, únicamente depende de la localización geográfica. Para su estudio se tiene en cuenta el marco geodinámico y sismotectónico del ámbito de estudio, la actividad de las fallas, la sismicidad histórica e instrumental y las fuentes sismogénicas. Para poder calcularla se mide la Aceleración Pico (PGA) y la Aceleración Espectral (SA). En cuanto a la vulnerabilidad, en la actualidad se considera como un concepto multidimensional que engloba simultáneamente factores físicos y sociales (Calvo García-Tornel, 2001), y es entendida como: la expresión del desequilibrio o desajuste entre la estructura social y el medio físico.

En el ámbito geográfico aquí estudiado la expresión antes señalada se acentúa en su valor de riesgo debido a que la evolución seguida por los procesos de urbanización durante las últimas décadas parecen haber permanecido al margen de cualquier estrategia de adaptación a este tipo de peligro. En otras palabras, la evolución experimentada por el factor de la vulnerabilidad ha ido alcanzando un nivel de contribución de tal magnitud que, si consideramos una estabilidad en cuanto a la peligrosidad de este tipo de fenómenos, se deduce fácilmente que el factor determinante que ha producido el aumento del riesgo sísmico ha sido el humano o vulnerabilidad.

Se trata de un enfoque teórico muy desarrollado por la comunidad científica (Burton y Kates, 1964; Cutter, 1996; Katzman, 2000; Cardona, 2001; Olcina Cantos, 2002; etc) que convierte al problema en una construcción social y que evidencia un actitud por parte del hombre escasamente adaptada a unas circunstancias naturales dominantes. Obviamente, lo anterior suscita una mayor propensión y frecuencia de las catástrofes asociadas a movimientos sísmicos debido a las debilidades que presentan esas múltiples dimensiones que explican la vulnerabilidad. Estaríamos hablando de cuestiones relacionadas con el comportamiento individual y comunitario. Las primeras son aquellas relacionadas con la percepción de la gente sobre la presencia de un peligro, la educación o formación recibida sobre cuestiones relativas al peligro, y, por supuesto, todo lo relativo a sus particularidades intrínsecas que dificultan o minimizan su resistencia y amortiguación de los efectos ante cualquier impacto, es decir, todas aquellas cuestiones de índole sociodemográfica y socioeconómica. En cuanto a las segundas, la esfera o escala de análisis abarca todas las características de una sociedad y que, en función de las mismas, diluyen o acentúan el efecto de un terremoto. Se refiere a las particularidades como las económicas, institucionales, ecológicas, etc. muy numerosas e interrelacionadas que hacen muy complejo un análisis completo. En conjunto representan un grupo de flaquezas de tipo físico y abstracto que restan capacidad de resistencia a esa población y edificaciones y que, incluso, llegan a motivar que seísmos de menor magnitud alcancen una mayor intensidad.

A continuación se describen todas aquellas causas, tanto físicas como humanas que motivan este especial dinamismo en términos de pérdidas económicas y vidas humanas que se viene experimentando en el área de estudio.

## **4.1. Sismicidad del área de estudio**

### **4.1.1. Marco geológico y geodinámico**

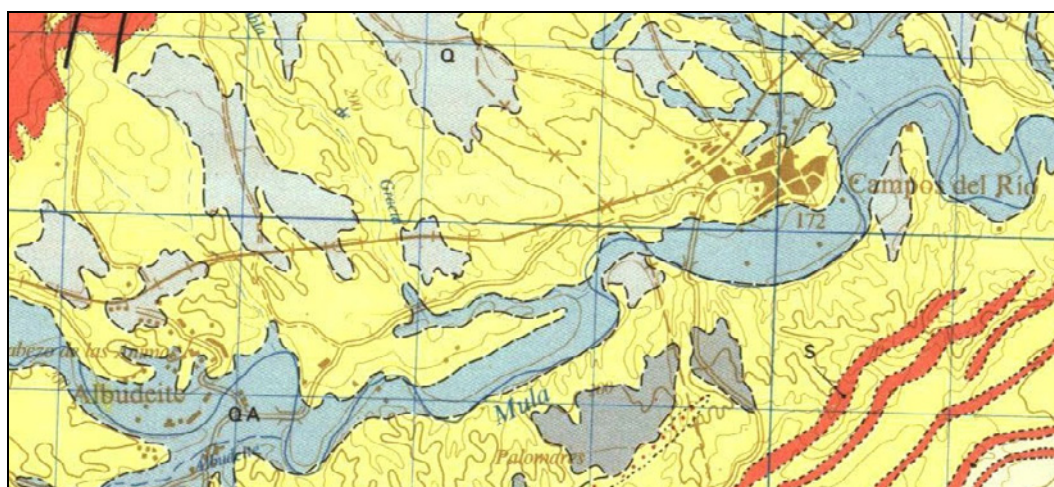
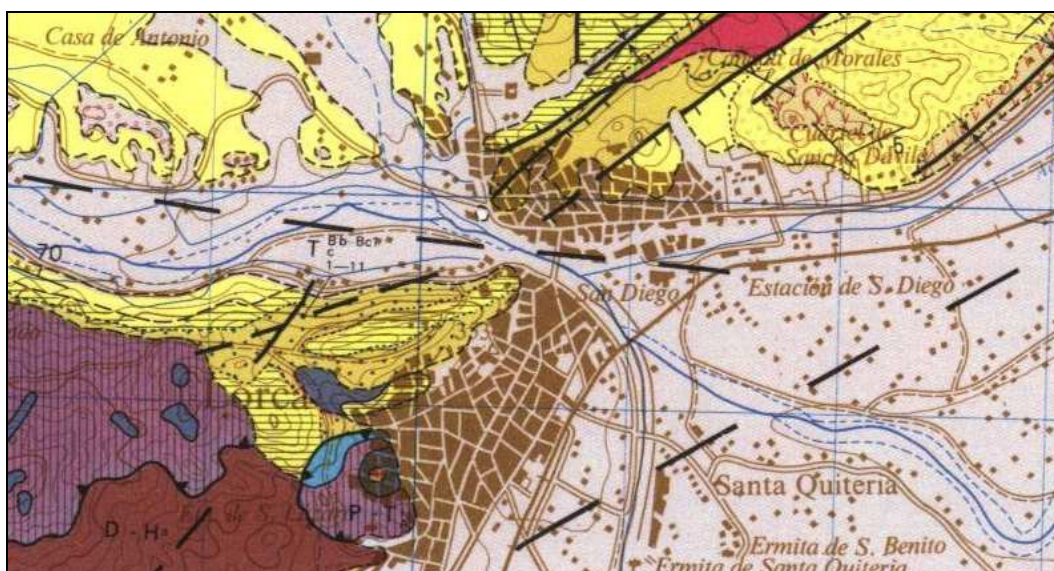
La Región de Murcia ésta se localiza en el interior del Orógeno Bético (Cordilleras Béticas), el cual comprende la parte continental española de la zona de contacto entre las placas tectónicas de África e Iberia. La deformación producida por la convergencia de éstas sobre la Península Ibérica se reparte en una banda compuesta por un conjunto de alineaciones montañosas de dirección general E-W y de unos 400 km de ancho, que están constituidas por dos dominios geotectónicos fundamentales: las Zonas Externas y las Zonas



Internas. Lorca y Mula están ubicadas en la mitad sur, donde se localizan los materiales emplazados sobre el antiguo margen continental de la placa Ibérica durante la etapa principal de formación de las Cordilleras Béticas.

La geología de esta zona se estructura básicamente en tres complejos tectónicos que, de abajo de arriba, se denominan Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide (Figura 27). Los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride están compuestos por rocas metamórficas de edad Precámbrico, Paleozoico y Triásico, se trata de argilitas rojas, pizarras y cuarcitas del Pérmico y cuarcitas, filitas grises y micaesquistos del Devónico.

El Complejo Maláguide, a diferencia de los anteriores, está compuesto por sedimentos de edad Paleozoica, Mesozoica y Terciaria que no presentan metamorfismo. Otros sedimentos que se encuentran en el área de estudio y no tienen relación con los complejos mantos de corrimiento de las Béticas, son denominados sedimentos post-mantos. Se trata de los materiales neógenos (de color amarillo en las Figuras 27 y 28) y cuaternarios (de color gris en las Figuras 27 y 28) que, además, conforman la mayoría de los relieves circundantes a los cascos urbanos de Lorca y Mula y son, principalmente, calcarenitas, areniscas, margas y conglomerados. Los materiales cuaternarios, principalmente son depósitos aluviales consecuencia de la dinámica fluvial del río Guadalentín y Mula, y como se verá más adelante, son precisamente estos últimos los que presentan unas peculiaridades físicas que motivan un comportamiento de los mismos con un alto grado de peligro para las poblaciones asentadas sobre ellos cuando existen fallas activas subyacentes.



Figuras 27 y 28: Capturas de los mapas geológicos de Lorca y Mula. Fuente: Serie MAGNA50 del IGME.

En lo que se refiere al marco geodinámico, las medidas de movimientos relativos entre las placas obtenidas a través de observaciones de interferometría espacial indican una velocidad de movimiento relativo en el centro de la Península Ibérica entre la placa Ibérica y la placa Africana de 0,2 mm/año según una dirección

NO-SE. Ello parece indicar que el 95 % de los 4 mm/año de la tasa de movimiento entre la placa Ibérica y la placa Africana es absorbida por la deformación en las cordilleras Béticas, Mar de Alborán, Rif y Tell. (SISMIMUR, 2006).

Tanto de la evolución tectónica regional como de la dinámica cortical actual de la Región de Murcia y su entorno se deduce que desde el Mioceno superior hasta la actualidad la zona ha estado sometida a un campo de esfuerzos compresivo controlado por la convergencia entre las placas Africana y Euroasiática (Ibérica) según una dirección aproximadamente NO-SE.

La repartición de la deformación producida por la convergencia entre ambas placas en un área tan extensa, unido a la relativamente baja velocidad de acercamiento entre las placas, determinan, en parte, que el nivel de peligrosidad sísmica de esta área sea moderado. Concretamente en la Región de Murcia la ocurrencia de sismicidad se atribuye fundamentalmente a roturas en pequeñas fallas secundarias distribuidas extensamente por el territorio y prácticamente orientadas en todas las direcciones. Se pueden reconocer cuatro sistemas de fallas de orientación general NW-SE, N-S (de NNW-SSE a NNE-SSW), NE-SW a ENE-WSW y WSW-ESE. La longitud en superficie de éstas no sobrepasa, por lo general, los 10km.

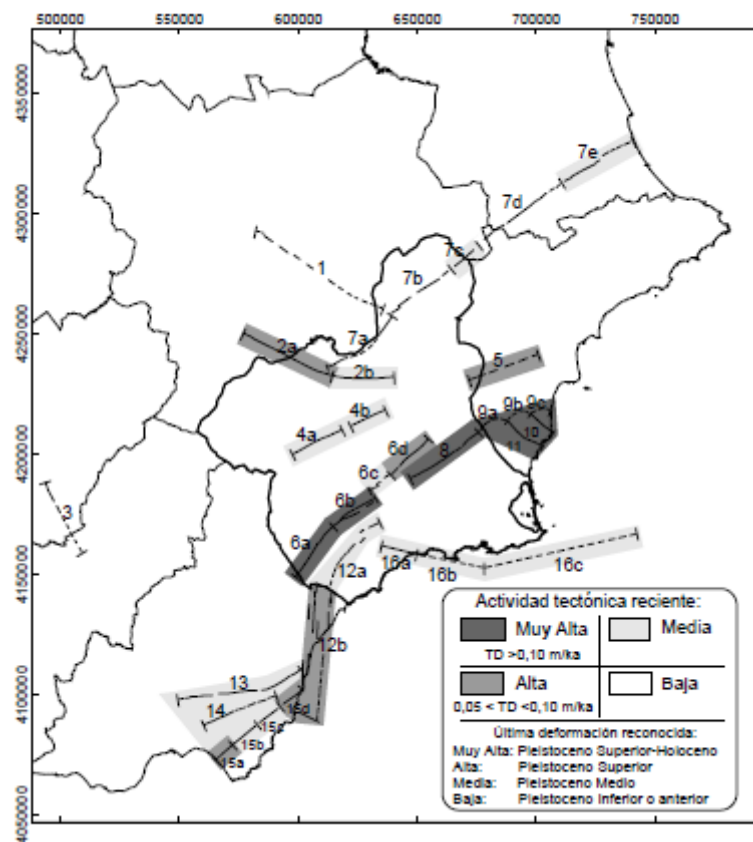


Figura 29: Grandes fallas del sureste peninsular. Se indican los diferentes segmentos tectónicos que componen cada una de ellas, así como su grado de actividad reciente. Fuente: IGME (2011).

Las evidencias de deformación más recientes se han encontrado en relación con los sistemas de fallas localizados en la mitad sur de la Región. Concretamente, algunas de las fallas de los sistemas NW-SE y N-S deforman en esta zona depósitos de edad Pleistoceno Superior (125.000-10.000 años). En el resto de los sistemas las alteraciones reconocidas hasta la fecha no sobrepasan el Pleistoceno Medio (720.000-125.000 años). La edad de estas es, por lo general, aún más antigua en la mitad norte de la Región.

Se han identificado, además, asociaciones directas con la sismicidad en todos los conjuntos de fallas y sistemas de orientaciones, ya sea por la ocurrencia de series sísmicas o por alineaciones de epicentros bien localizados, lo que sugiere que todos los sistemas, independientemente de su orientación, son sísmicamente activos. Se pueden destacar tres conjuntos que por sus dimensiones o cercanía al sistema de fallas de Alhama de Murcia, tuvieron una relación directa con los terremotos de Mula de 1999 y de Lorca de 2011. Se trata de

la falla de Carrascoy, falla de Socovos-Calasparra y falla de Crevillente (Figura 29). Por otra parte, la gran falla de Alhama de Murcia está compuesta por varios segmentos: Lorca-Totana, Puerto Lumbreras- Lorca y Alhama-Alcantarilla.

Para indagar en las características del riesgo sísmico en la Región de Murcia el proyecto SISMIMUR ha desarrollado estudios de peligrosidad sísmica donde se estiman unos valores de aceleración pico en roca (PGA), también conocida como aceleración máxima del terreno. Dependiendo de la composición geológica de un determinado suelo, la amplificación de la onda sísmica es diferente, llegando a ser muy elevada en suelos poco cohesionados, lo que tiene un efecto directo sobre las estructuras.

Para los núcleos urbanos de Lorca y Mula los datos de PGA oscilan entre 0,07 y 0,13g. sobre periodos de retorno de 475 años. Estos valores son comparables a los de aceleración básica proporcionados por la Norma NCSE-02 para un periodo de retorno de 500 años, que presenta un intervalo entre 0,06 y 0,13g. Además, en dichos estudios también se han obtenido resultados de PGA para periodos de 975 años de entre 0,09 y 0,18 g. Por otra parte, y no menos importante, el valor del coeficiente de variación calculado en toda la Región alcanza los 0,25 en el área de estudio. Dicho coeficiente de variación es adimensional y da una medida de la variabilidad del parámetro representado en la función de las opciones de entrada al cálculo, o lo que es lo mismo, nos advierte sobre el grado de incertidumbre en el que se mueven los valores dentro de un rango. En el área de estudio es lo suficientemente alto como para superar umbrales contenidos en la norma sismorresistente. Este margen de error configura una situación de indeterminación que favorece un proceso de toma de decisiones durante la construcción de edificaciones.

Por otro lado, otra de las deficiencias que se advierten es que tampoco fueron consideradas las fallas como unidades independientes (con un peso relevante) en el cálculo de la peligrosidad, hecho que se traduce en isolíneas de movimiento esperado que no correlacionan específicamente con la geometría de las fallas, distribuyéndose la peligrosidad en zonas más amplias.

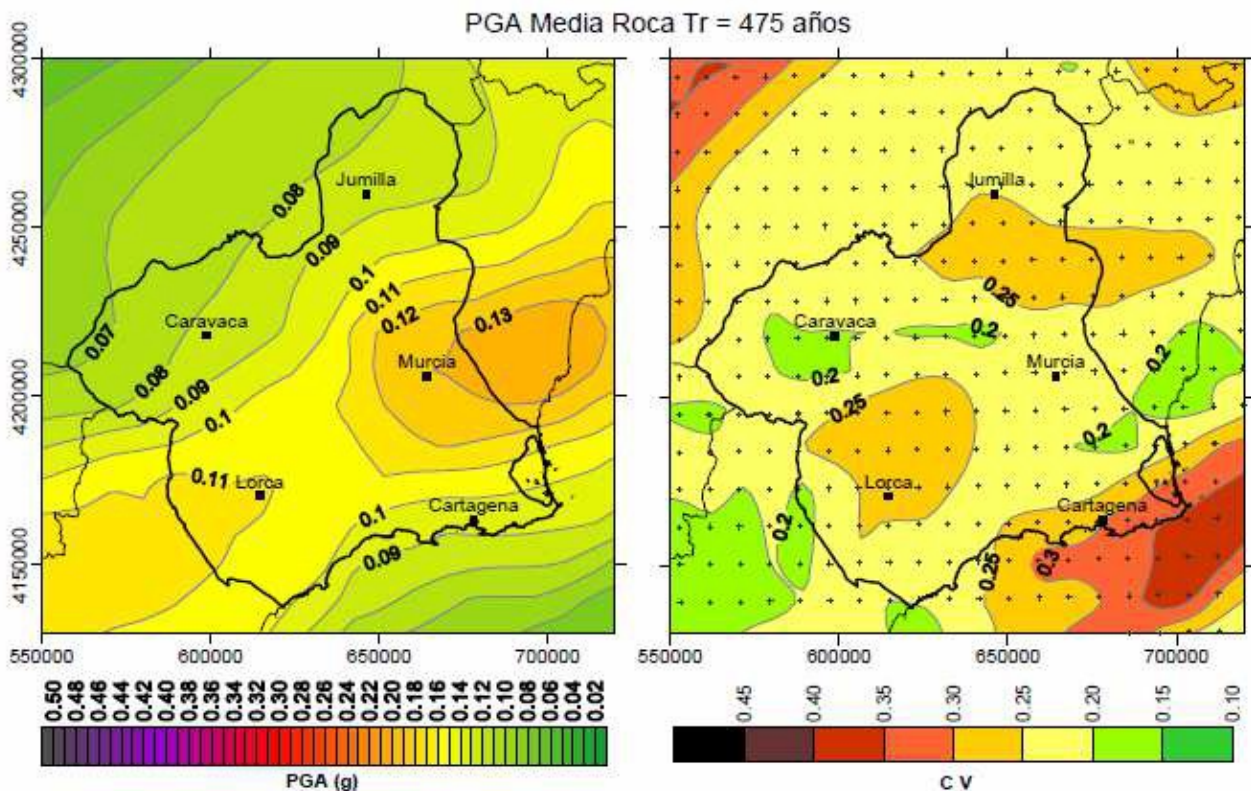


Figura 30: Mapa de valores medios de PGA en roca para 10% de probabilidad de excedencia (izquierda) y del coeficiente de variación correspondiente (derecha) que da idea de la incertidumbre de la estimación. Fuente: SISMIMUR (2006).

En las cuencas del Guadalentín y Mula, la aceleración esperada es de 0,11g, pero el valor de CV es de 0,25, siendo este el más alto de los encontrados en la región (variabilidad del 25%). Es decir, el nivel de

movimiento dado en Lorca y Mula lleva una elevada incertidumbre asociada, inherente especialmente a las diferentes zonificaciones que pueden adoptarse, y que generan importante variabilidad en los suelos. Este hecho no está reflejado con precisión en la normativa sismorresistente NCSE-02, por lo que es importante incorporar los nuevos conocimientos adquiridos en estudios recientes de microzonación a las futuras construcciones.

#### 4.1.2. Peligrosidad sísmica de la Región de Murcia

La peligrosidad sísmica es la probabilidad de que los parámetros que miden el movimiento del suelo (aceleración, intensidad) sean superados en un determinado tiempo. Para su estudio se tiene en cuenta el marco geodinámico de la región, la actividad de las fallas, la sismicidad histórica e instrumental (que componen el catálogo sísmico de una región), las fuentes sismogénicas (zonas sismogénicas y fallas), y se calcula la peligrosidad sísmica en Aceleración Pico (PGA) y la Aceleración Espectral (SA) de cada evento siempre que sea posible.

Una forma de cuantificar la actividad sísmica en el área de estudio y zonas de influencia para todo el periodo conocido, tanto histórico como instrumental, consiste en contabilizar los terremotos y describirlos con un único parámetro mediante la intensidad macrosísmica. Los primeros se inician con el primer sismo que tuviese intensidad asignada y coordenadas epicentrales, mientras que los segundos podrían considerarse a partir del primer sismo con magnitud instrumental calculada, o que haya sido registrado instrumentalmente en al menos tres estaciones y con coordenadas epicentrales calculadas ya sea por métodos gráficos o numéricos.

Los estudios más recientes en sismicidad histórica en la Región de Murcia (Martínez-Guevara y Fernández Navarro-Soto, 1987; Martínez Solares y Mezcua, 2002), señalan que del total de 252 sismos registrados para la Región de Murcia, 125 corresponden al período histórico, por lo común considerado desde que tenemos la primera noticia de un terremoto con epicentro en la Región, precisamente, en Lorca en 1579, hasta 1930. Aunque la primera red sísmica comienza a funcionar en España a principio de los años veinte del siglo pasado, no es hasta la mitad de este último año señalado que contamos con magnitudes en los terremotos para Murcia. Las series más importantes en periodo histórico o no instrumental son las siguientes las que figuran en la tabla 11.

Tabla 11: Sismos ocurridos en el interior de la Región de Murcia y próximos, con anterioridad a 1920 y con intensidad máxima igual o superior a VII. A partir de este grado de intensidad comienzan a registrarse daños de importancia en algunas edificaciones. Fuente: Martínez-Guevara (2011).

Fecha	Localidad más afectada	Intensidad máxima (MSK)
30/01/1579	Lorca	VII
20/08/1674	Lorca	VIII
09/03/1743	Murcia	VII
15/08/1746	Murcia	VI-VII
20/12/1818	Lorca	VI-VII
21/03/1829	Torre Vieja	IX-X
11/11/1855	Alhama de Murcia	VI-VII
16/01/1883	Ceutí	VI-VII
16/04/1907	Totana	VII
29/09/1908	Ojós	VII
21/03/1911	Torres de Cotillas	VIII
03/04/1911	Lorquí	VIII

En lo que se refiere al periodo instrumental (Tabla 12), desde 1930 se han registrado en el área de estudio más de 2.200 terremotos, de los cuales, un 97% se corresponde con episodios de magnitudes inferiores a 4,0 en la escala de Richter. La magnitud máxima registrada, antes del evento de Lorca de 2011 alcanza el grado 5,0, y en todo este periodo, han ocurrido en el área de estudio 20 terremotos de magnitud igual o superior a 4,0.

Tabla 12: Principales terremotos con magnitud igual a 4,0 ó con intensidad igual a VII registrados instrumentalmente en el interior de la Región de Murcia desde el año 1920 hasta mediados del año 2005.

Fuente: Martínez-Guevara (2011).

Fecha	Magnitud	Término Municipal	Intensidad máxima (EMS)
29/01/2005	4,5	Bullas	VI
06/08/2002	5,0	Bullas	V
02/02/1999	4,8	Mula	VI
02/09/1996	4,5	Mazarrón	V
26/11/1995	4,1	Alcantarilla	V-VI
24/03/1978	4,3	Lorca	-
06/06/1977	4,2	Lorca	VI
14/04/1972	4,2	Jumilla	-
29/07/1967	4,2	Cieza	III
30/05/1963	4,0	Lorca	V
22/12/1958	4,0	Fortuna	VI
20/05/1952	4,4	Palmar	V
02/05/1950	4,0	Archena	VI
23/06/1948	5,0	Cehegín	VIII
14/05/1946	4,2	Sangonera	VI
14/05/1945	4,3	Jumilla	VI
23/02/1944	3,8	Fortuna	VII
24/11/1941	4,1	Calasparra	VI
13/06/1936	4,5	Cieza	IV
26/01/1931	4,0	Yecla	VI
03/09/1930	3,7	Lorquí	VIII

A modo de balance, según los datos obtenidos del proyecto SISMIMUR, desde el primer terremoto considerado hasta la actualidad, se han observado 62 sismos de intensidad superior a V (EMS), es decir, aquellos que han ocasionado algún grado de daño tal y como se refleja en la figura 31. La tasa de actividad o frecuencia que resulta para este nivel de intensidad, sin considerar el sismo de 2011, sería aproximadamente de 0,1 terremotos al año.

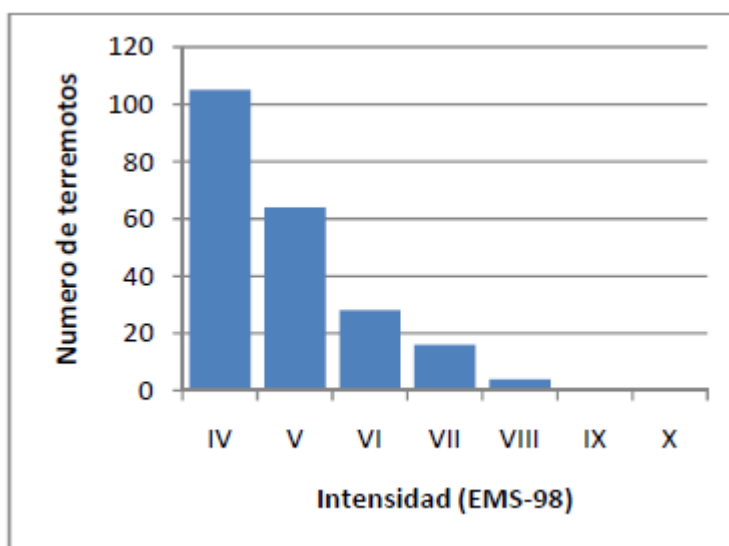


Figura 31: Distribución del número de terremotos según su intensidad en el área de estudio. Fuente: IGME, 2011.

Sin embargo los datos también reflejan que desde el periodo instrumental, se han registrado en el área de estudio más de 2.200 terremotos, 1.500 de los cuales se corresponden con magnitudes inferiores a 2,0 en la escala de magnitud local (ML) (Figura 32). En todo este periodo han ocurrido en la zona 20 terremotos de

magnitud igual o superior a 4.0 (ML). Por tanto, aproximadamente un 1% de los terremotos acontecidos en el periodo instrumental fueron potencialmente destructivos.

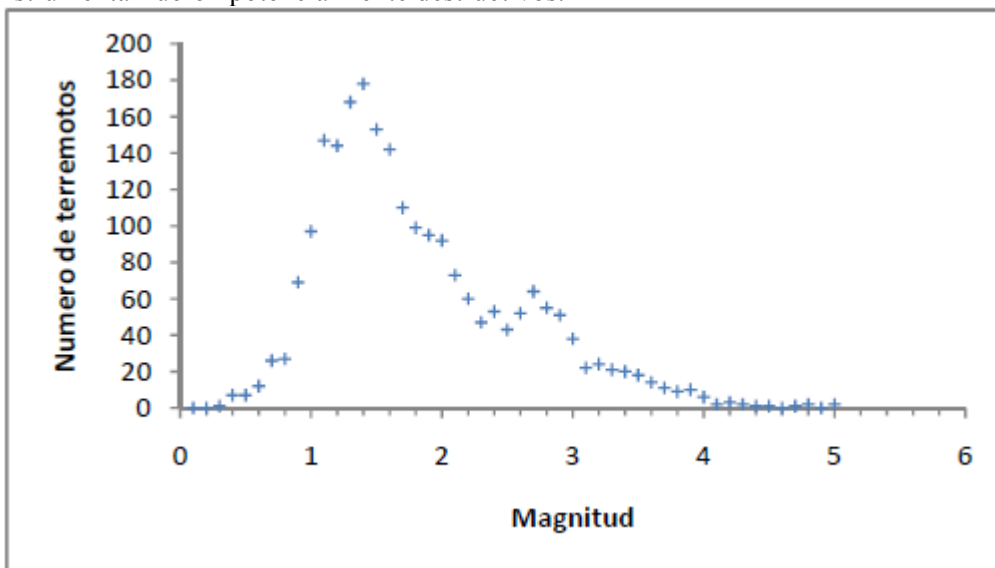


Figura 32: Distribución del número de terremotos clasificados por magnitud (periodo 1930-2010). Fuente: IGME, 2011.

Por lo tanto, se trata de una amenaza especialmente activa y periódica, que si bien esta caracterizada por terremotos de baja-moderada magnitud, puntualmente hacen acto de presencia aquellos capaces de generar daños elevados. La distribución espacial de los mismos a modo de conjunto para ambos periodos comentados viene sintetizada en la figura 33.

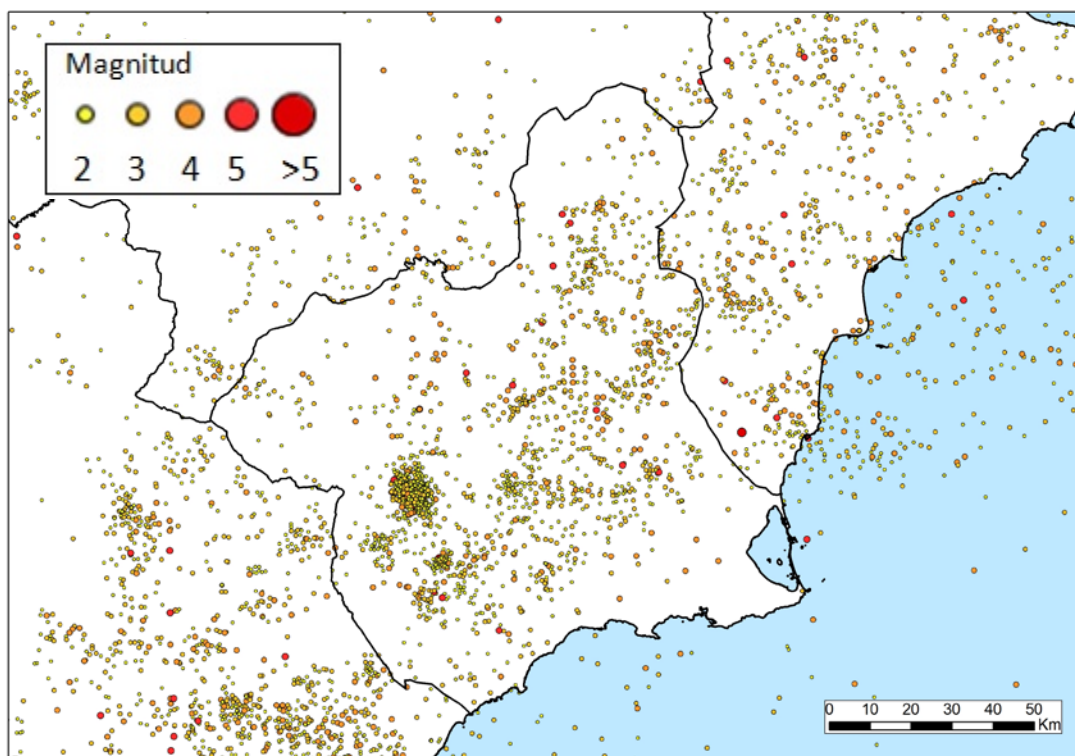


Figura 33: Distribución espacial del número de terremotos según magnitud en el área de estudio. Fuente: IGN (2016).

## 4.2. Vulnerabilidad al peligro sísmico

Como ya se ha señalado anteriormente, la vulnerabilidad se debe entender como un concepto complejo, multidimensional, resultado de la intervención de numerosas variables que contribuyen en mayor o menor medida a un aumento o disminución de la misma. En el caso de la correspondiente a los movimientos sísmicos, muchas de esas variables se entienden en función de la figura que la ostenta (Cutter, 2003; Pérez-Morales et al., 2016). Es decir, el análisis de la vulnerabilidad depende de si se aplica al individuo, a la comunidad o a ambos.

Entendiendo de esta forma el concepto de lo vulnerable, se advierte un grado de complejidad muy elevado para llegar a comprender la realidad absoluta del problema. En esas circunstancias y ante los vacíos de información que los investigadores se encuentran sobre diferentes variables que configuran esta cuestión, conviene proceder prestando atención a evidencias indirectas que nos proporcionan una idea del grado de ésta.

### 4.2.1. Vulnerabilidad institucional

Una de estas dimensiones de la vulnerabilidad, es la institucional o la falta de adecuación de las normas por las que se rige la adaptación de una sociedad a la presencia y actividad de un fenómeno natural como son los seísmos (Raschky, 2008). En términos constructivos, las debilidades de la misma se ven reflejadas en las deficiencias de una edificación en cuanto a su capacidad para resistir los efectos de las ondas sísmicas. De esta forma, aquella edificación con unas características menos adaptadas a estas circunstancias o que no cumpla con los requisitos necesarios para hacerla más resistentes, tendrá una mayor tendencia a sufrir daños; de esta forma se puede llegar a decir que la vulnerabilidad institucional y las pérdidas derivadas dependen de las características constructivas y socio-económicas de la zona.

Las normas sismorresistentes a las que se viene aludiendo comprenden tres periodos de aplicación correspondientes, cada uno de ellos, a la vigencia de los distintos documentos que se iban sucediendo para mejorar su eficiencia y aplicación. En este orden de cosas:

- PGG/PDS-1: Normativa Sismorresistente, implantada por primera vez de manera experimental en 1968 (PGS-1) en el área del levante y sur de España. En 1974 se extiende a todo el territorio, es aplicada por la Comisión Interministerial de Normas Sismorresistentes.

- NCSE-94: tras un periodo largo en el que se estuvo aplicando la primera normativa, aparece una nueva versión, la Normativa de Construcción Sismorresistente, vigente desde 1994 hasta 2002. Se trata de un salto cualitativo aplicando nuevos conocimientos sobre el riesgo sísmico, nuevas técnicas de construcción y nuevos materiales.

- NCSE-02: se trata de la normativa vigente desde 2002, no difiere mucho de su predecesora, sólo en algunos aspectos técnicos de los elementos superficiales de las edificaciones.

Esta última norma señalada es por la que se guía la construcción de edificaciones en el territorio español. Su configuración se rige y atiende a la Escala Macro Sísmica Europea 1998 (EMS-98), la cual, mejora y afina los procedimientos para el diagnóstico de intensidades.

La normativa actual, salvando los problemas de incertidumbre antes comentados, parece suficiente para asegurar unas edificaciones de nueva construcción adaptadas al peligro latente en el territorio afectado por el riesgo sísmico. El avance científico-tecnológico ha permitido alcanzar un instrumento que, en absoluto tiene que envidiar al resto de legislaciones homólogas de otros países y que, de hecho, sigue mejorando conforme se implementan los nuevos conocimientos en este ámbito. Estos últimos, en su mayoría asociados a una mejora de los estudios microsísmicos o, lo que es lo mismo, un aumento en la resolución espacial de los trabajos.

Sin embargo, el tiempo ha corrido en contra de la aplicación de las normativas y, pese a los progresos alcanzados, tal y como sucede con otro tipo de riesgos como el de inundación, la efectividad de la normativa ha quedado reducida a las últimas cuatro décadas. Antes de ese periodo, las edificaciones siguieron unas pautas constructivas en su mayor medida basadas en materiales y técnicas que han demostrado sus carencias

cuando se produjeron los movimientos. Se trata de un problema que parece extenderse en núcleos poblacionales mediterráneos de características similares a los del área de estudio. Valgan como ejemplo los terremotos acontecidos en Italia, en L'Aquila (2009) y, más recientemente, Amatrice (2016). La evolución urbana de todas esas poblaciones experimentó un verdadero crecimiento a partir de mediados del siglo pasado. Desafortunadamente, ese impulso constructivo, aunque en muchas localidades ha terminado por doblar el caserío (principalmente las del litoral) y expandir superficialmente esas ciudades, los esfuerzos realizados en esos nuevos procesos de ocupación obviaron el reforzamiento de unas edificaciones que, por senectud, no se beneficiaron de los últimos avances en la construcción antisísmica. En las dos ciudades del área de estudio el porcentaje de edificaciones levantadas antes de la aplicación de la primera norma sismorresistente es de más del 65%, valor que se acentúa hasta más del 70% si centramos nuestra atención en los límites que rodean el núcleo urbano compacto de ambas.

En el último y actualizado Plan Especial de Protección del Riesgo Sísmico de la Región de Murcia (2015), incluye unos resultados de gran interés del proyecto RISK-UE sobre estimación de daños antes nuevos eventos que respaldan lo anteriormente comentado (Figura 34). Se observa que la mayoría de las entidades muestra más de un 50% de edificios con daño moderado. Las menos afectadas estarían y sur, al como Yecla, Jumilla, Cieza, y Águilas, las cuales presentan casi todos los edificios sin daños ante la acción sísmica y un porcentaje casi nulo de daño completo. Por su parte, las entidades que presentan mayor porcentaje de edificios con daño extenso a completo son las de los municipios de Murcia, Lorca y Totana. Obviamente, esta distribución guarda una estrecha correlación con el trazado del sistema de fallas.

Lo comentado hasta el momento no debe entenderse como la raíz del problema pues, pese a que en valores absolutos de las edificaciones afectadas antiguas son los más elevados, proporcionalmente pueden ser mayores en las nuevas. Las circunstancias que motivan esto último atienden a múltiples variables que de forma alarmante se pone de manifiesto cada vez que un edificio de reciente construcción colapsa o se ve intensamente dañado. En la mayoría de las ocasiones se buscan responsabilidades e intereses ocultos a este respecto para dar respuesta al sinsentido, sin embargo, no dejan de ser casos puntuales que despiertan una gran alarma social y que enmascaran una realidad mucho más compleja que ha de tratarse a modo de conjunto y no puntual. Se trata de la recuperación de barrios, grandes áreas urbanas, sin hablar del patrimonio histórico (el más necesitado de estas ayudas por sus tantas virtudes), para así adaptarlas a las necesidades de seguridad actuales. En definitiva una tarea francamente complicada cuyo escollo principal pasa por lo económico y la rentabilidad.



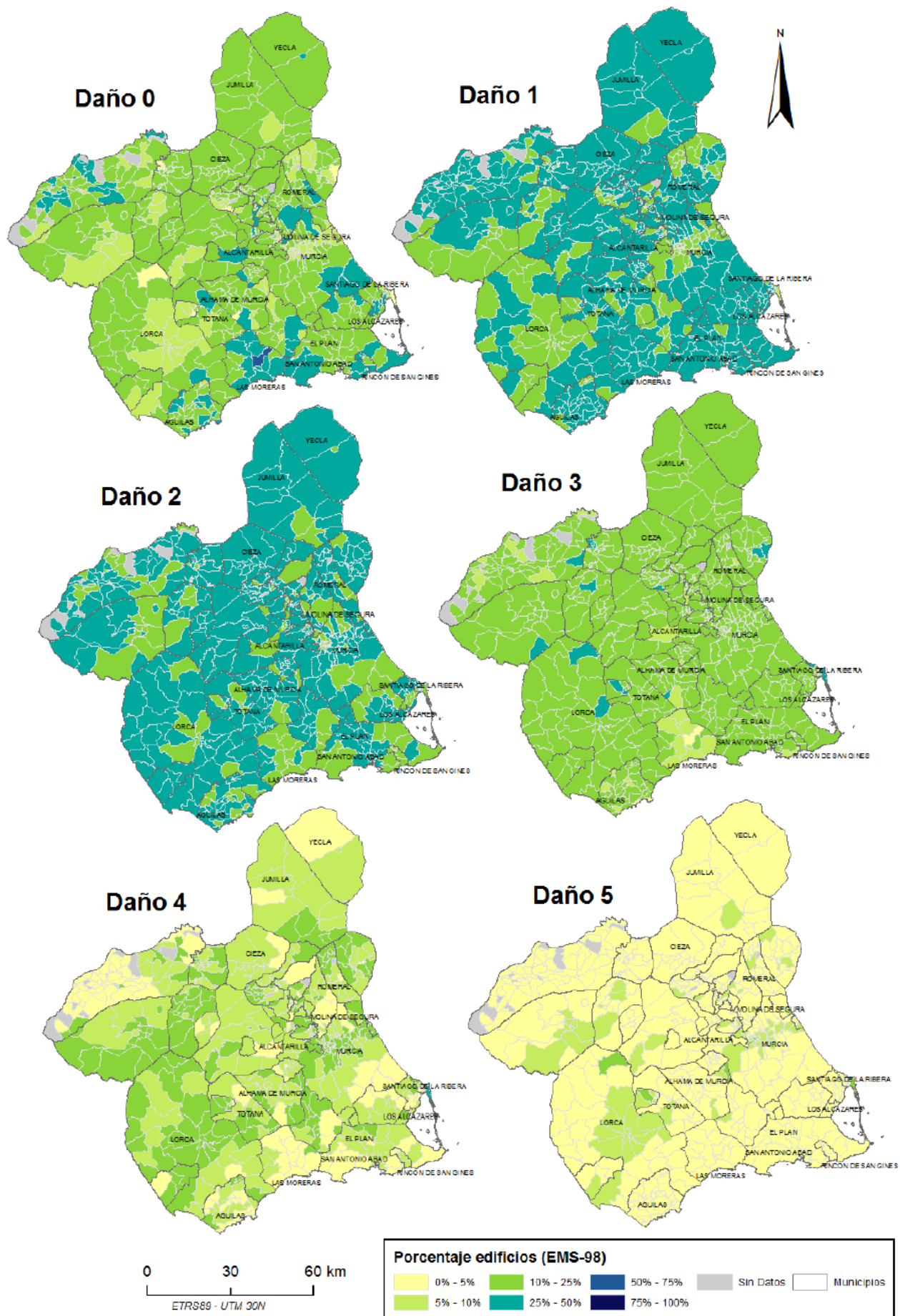


Figura 34: Distribución de daño estimada con la escala Risk-UE. Fuente: SISMIMUR (2015).

### **4.2.2. Vulnerabilidad biofísica**

Según Cutter (1996), con este término nos referimos a las características del contexto geográfico analizado que acentúan o disminuyen los efectos de la amenaza. Por ejemplo, para el caso de los terremotos estaríamos hablando de las propiedades físicas del suelo y de la presencia de fallas activas poco profundas donde se asienta el espacio construido (SISMIMUR, 2015; Buforn y Sanz de Galdeano, 2001; López-Comino, Mancilla y Stich, 2012). Este tipo de peculiaridades en combinación con los elementos expuestos al peligro, hacen de ciertos ámbitos, lugares más o menos propensos a experimentar daños o pérdidas. Se trata de lo que algunos identifican como regiones riesgo (Olcina Cantos, 2010).

En el caso del ámbito de la salida de campo, el sistema de fallas ya descrito recorre y atraviesa directamente un espacio urbanizado que se extiende por terrenos llanos inmediatos a flancos orográficos representados por cordilleras de plegamiento terciarias. En las partes más deprimidas o fosas, se acumulan sedimentos pliocuaternarios y cuaternarios plásticos poco consolidados transportados por la red hidrográfica que drena las vertientes de esas inmediaciones creando glaciares y abanicos aluviales. Las características de esos suelos son muy fértiles y, por tanto, idóneas para su aprovechamiento agrícola y urbano. Sin embargo, su ocupación favorece y acentúa el riesgo, independientemente del resto de vulnerabilidades debido a que son suelos que favorecen la transmisión en baja frecuencia y lenta de la onda sísmica. Estamos ante un catalizador de cualquier otra carencia del factor humano, por lo que la falta de adaptación al mismo se pone de manifiesto con cada sismo a modo de pérdidas. Ni que decir tiene que dicho escenario ha de ser considerado en su justa medida para realizar una ocupación adecuada, desafortunadamente sobre esta cuestión existen grandes lagunas de conocimiento y tan solo queda confiar en la prevención y planificación como medidas más coherentes para minimizar cualquier efecto.

### **4.2.3. Percepción del riesgo**

La percepción de la población ante la hipotética presencia de un riesgo constituye un factor más que, junto con los intrínsecos de lo social, se confunden e influyen en el estado final de la vulnerabilidad global (Lara et al., 2010). En otras palabras, las decisiones que determinan muchas veces la condición socioeconómica o sociodemográfica de un grupo de personas o de un individuo están estrechamente influenciadas, entre otras cosas, por la percepción del riesgo.

Una percepción ajustada de la realidad permite al individuo o al grupo de ellos tomar decisiones más eficientes que mejoran su condición socioeconómica, sociodemográfica y su capacidad de adaptación (Tapsell et al., 2010), de modo que, en lo que se refiere al riesgo, mejora su estado de vulnerabilidad social. Según lo anterior, el conjunto de estas características y la percepción del riesgo, limitan las capacidades de desarrollo, la de prevención y la respuesta frente a la materialización de una catástrofe de un colectivo de población. En el área de estudio (Cuencas de Mula y Guadalentín), dicha percepción ha ido degradándose paulatinamente con el tiempo hasta tal punto que las pérdidas registradas en los últimos eventos sísmicos en Mula y Lorca pueden haberse visto acentuadas por lo anterior (Calvo García-Tornel y Granel Pérez, 2009a). En ambas ciudades existen precedentes de episodios de similares características a los últimos analizados en este trabajo, tanto en magnitud, como en intensidad; y en localidades vecinas terremotos tan conocidos por su intensidad como el de Arenas del Rey (Saenz de Galdeano, 1985) o Torrevieja (Calvo García-Tornel y Canales, 2009b). Eventos que en su día tuvieron una repercusión, social y económica fuera de lo cotidiano, hasta extremos de reconstrucción integral y traslado de poblaciones, caso de Guardamar. Por tanto, llama la atención que el paso del tiempo haya borrado cualquier recuerdo o atisbo del peligro en la mente de los nuevos pobladores. A este respecto Beck (1998) señala a la confianza depositada en los avances tecnológicos y el desarrollo experimentado por las sociedades afectadas como el principal motivo que desorienta a la población y la lleva a un estado de certeza absoluta en las actuaciones de carácter estructural (regidas por la norma sismorresistente) como principal medida de seguridad, independientemente de que se cumpla o no. La respuesta involuntaria de lo anterior se advierte en un comportamiento y acciones de prevención y defensa de los habitantes que brillan por su ausencia. Del lado de la prevención, existe prácticamente un vacío absoluto que condena a la población y aumenta de forma sustancial su probabilidad de experimentar nuevas pérdidas en forma de catástrofe. Afortunadamente lo anterior parece estar cambiando y, aunque de forma muy inicial, ya se acometen medidas de concienciación y aprendizaje por medio de programas educativos (Alfaro et al., 2011).

## 4.3. Movimientos sísmicos recientes

### 4.3.1. El terremoto de 11 de Mayo de 2011 en Lorca, Cuenca del Guadalentín

La ciudad de Lorca, de 92.869 habitantes (INE, 2011), se localiza sobre la falla de desgarre de Alhama de Murcia, de dirección NE-SO y 85 km de longitud (Figura 35). Por encima se depositan sedimentos aluviales y coluviales de la cuenca del río Guadalentín que amplifican la señal del tren de ondas sísmicas.

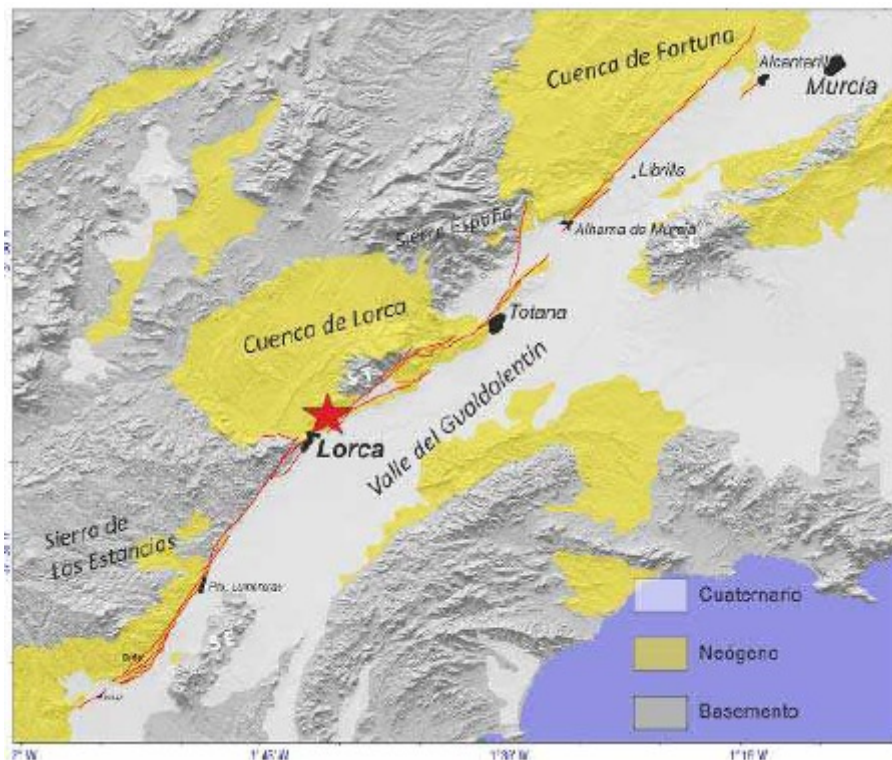


Figura 35: Cartografía del trazado de la falla de Alhama de Murcia.

La estrella indica la posición del epicentro del terremoto de magnitud Mw 5.1. Fuente: IGME, 2011.

El 11 de mayo de 2011, tuvieron lugar dos terremotos con motivo del movimiento de la mencionada falla. Uno premonitorio (de magnitud 4,5° Richter) y otro principal (de 5,1° Richter), con epicentro a 2 km al NE de la ciudad de Lorca, profundidad entre 2 y 3 km, aceleración sísmica de 0,37g horizontal que fueron sucedidos por 131 réplicas la semana posterior.

Algunos datos que da idean de las características de este evento son:

- Tuvo una duración muy corta, de apenas unos pocos segundos. El movimiento más fuerte y dañino apenas duró un segundo.
- Produjo el valor máximo de aceleración de suelo registrado desde que existe registro instrumental en nuestro país, 0.37 g.
- Causó el número más elevado de víctimas (9 fallecidos y 300 heridos) desde el terremoto de Albolote, en la provincia de Granada, en 1956, y el terremoto producido en el SW del Cabo de San Vicente en 1969.
- Es el que ha causado más daños materiales en España en las últimas décadas: más de 300 millones de euros de pérdidas estimadas.
- Las víctimas se produjeron por la caída de los elementos no estructurales de los edificios y no por el colapso de las estructuras.
- Desencadenó casi 300 fenómenos de inestabilidad de laderas (caída de rocas principalmente).
- Afectó a edificios de especial importancia estratégica, como el hospital de Lorca.
- Se produjeron daños muy significativos en centros educativos de la ciudad (meses más tarde, varios colegios y centros de enseñanza secundaria están impartiendo sus clases en otros edificios habilitados temporalmente).

- El patrimonio histórico de la ciudad se ha visto seriamente dañado por el colapso de techos, torres, cúpulas, etc.

#### 4.3.1.1. Daños observados tras el terremoto

El grado de afección que tuvieron las diferentes edificaciones del casco urbano de Lorca fue evaluado por un equipo de arquitectos y arquitectos técnicos voluntarios cuyos resultados fueron sintetizados en el Informe del Sismo de Lorca de Mayo del 2011. Los edificios se clasificaron por gravedad del daño de acuerdo a un código semafórico. De esta forma:

- La etiqueta verde significó seguridad de uso, si bien el edificio podía ostentar daños ligeros como fisuras, grietas o pequeños desprendimientos.
- La etiqueta amarilla implicaba edificio con daños y acceso al mismo condicionado a la eliminación del riesgo, por ejemplo mediante derribo de techos o parapetos dañados, o bien permitiendo su uso con precaución. Estas construcciones podían presentar además daños estructurales.
- La etiqueta roja significó daño estructuralmente, siendo necesaria la prohibición de acceso al inmueble. La mayoría de las etiquetas rojas emitidas se referían a edificios con daños en los pilares.
- Marcados como negros aparecen los edificios que colapsaron o que tuvieron irremediablemente que ser derribados.

El balance final obtenido fue de 7.839 edificios clasificados, 6.699 de los cuales del casco urbano. De ellos, un total de 3.255 se vieron afectados de diferente.

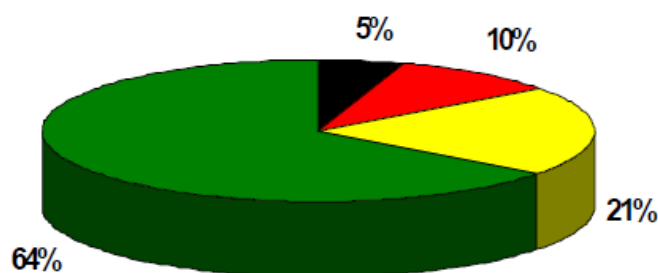
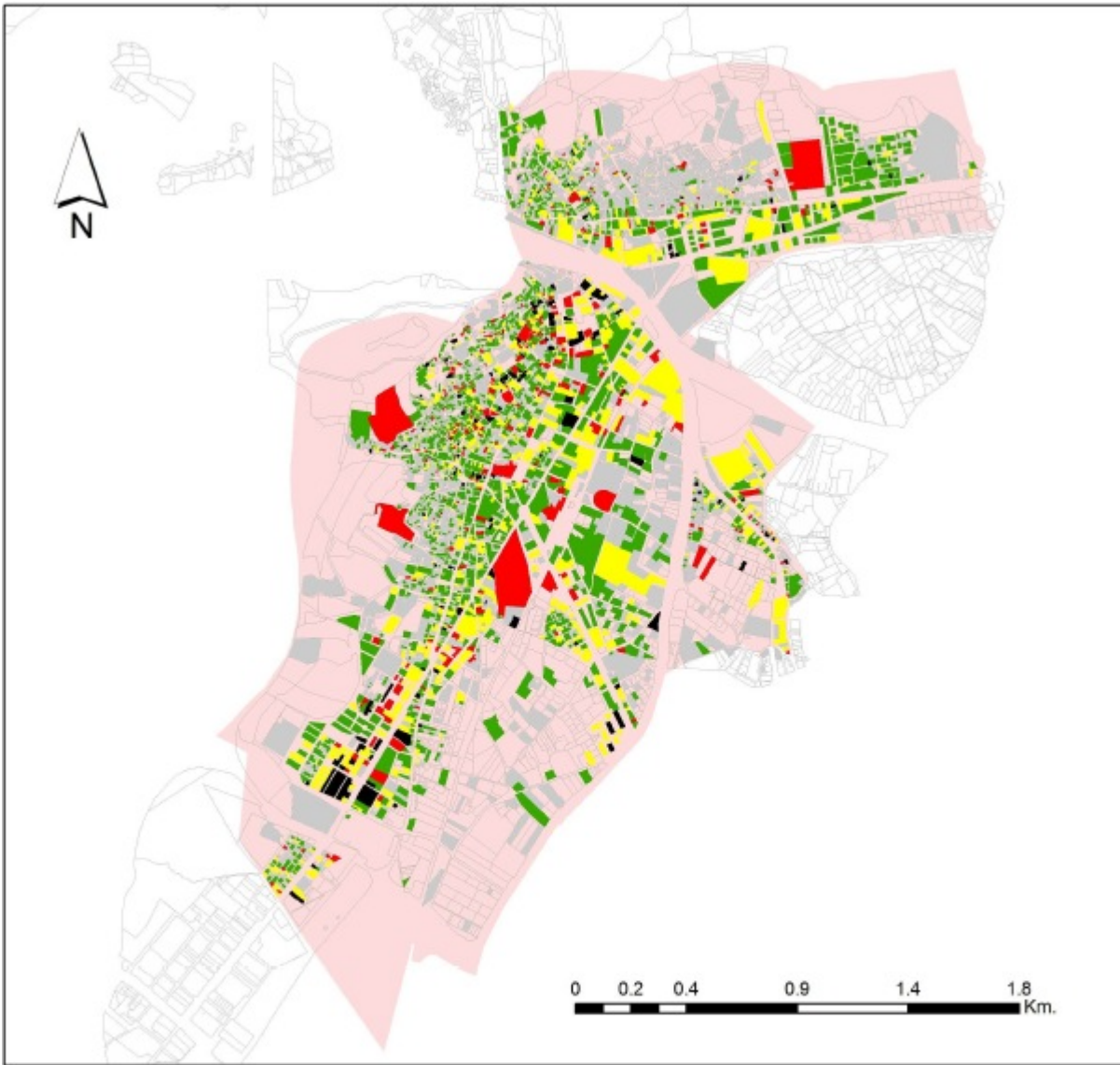


Figura 36: Porcentajes de los edificios dañados de Lorca según clasificación semafórica. Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).

Considerando la totalidad de las construcciones del término municipal, el 48,5 % se vieron afectadas en algún grado (Figura 36). De las anteriores, y de acuerdo a las diferentes categorías, en verde, el 64,5%, seguida de la que representa los daños medios, etiqueta amarilla, con un 20,8%. Sin embargo, es significativamente elevado el dato de los edificios catalogados de rojo, 9,7%, o el casi 5% de los afectados, marcados como negros, que en valores absolutos son 160 inmuebles que colapsaron (Figura 37) o fueron demolidos.



Derribo
  Daños estructurales
  Daños moderados
  Daños superficiales

Figura 37: Distribución espacial en el casco urbano de Lorca de los edificios afectados según nivel de daños.  
Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).



Figura 38: Edificio colapsado en el barrio de La Viña (Lorca). Imagen cedida por: E. García Cruz (2011).

#### 4.3.1.2. Eficiencia de la normativa sismorresistente en el terremoto de Lorca

El evento de 2011 puso a prueba por primera vez la aplicación de las sucesivas normas sismorresistentes hasta ahora comentadas. Aprovechando esa oportunidad, se llevó a cabo un estudio (Torrecillas y Pérez, 2015) para evaluar la eficiencia de las mismas de acuerdo. Para ello, el parque inmobiliario de Lorca se categorizó en función de cada uno de los periodos de vigencia de cada norma en los que fueron construidos y previos a ellas. En este sentido, se identificaron cuatro: el primero, que abarca desde el edificio más antiguo hasta la aplicación de la primera normativa, 1970; el segundo, correspondiente al periodo de vigencia de la normativa PGS-1 (1970- 1995), tercero NSCE-94 (1996-2002), y la actual, NSCE-02, vigente desde el 2002.

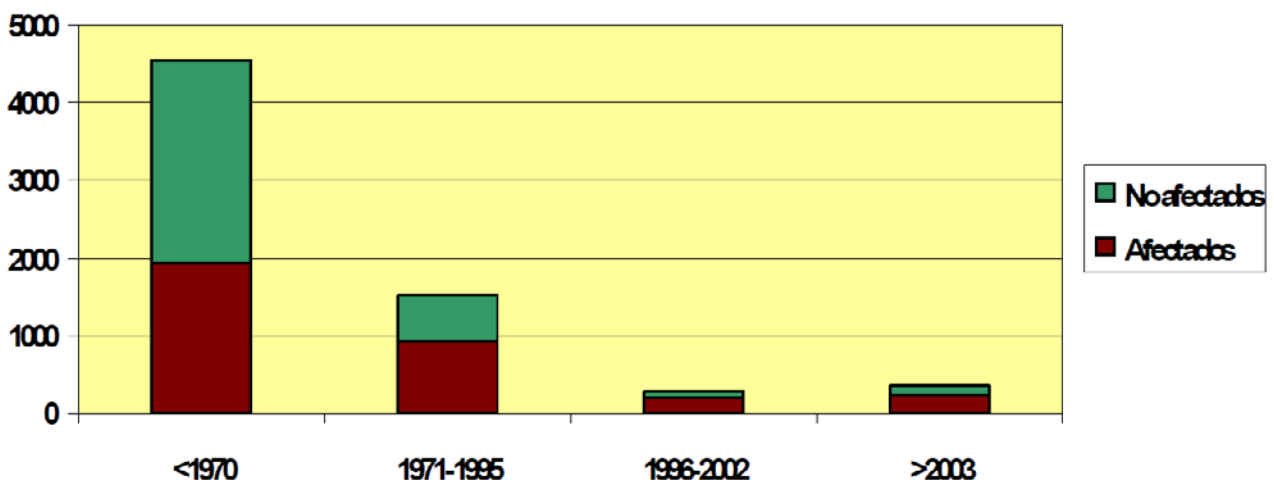


Figura 39: Edificios afectados y no afectados según el intervalo de construcción correspondiente a cada una de las normas sismorresistentes aplicadas y anterior a la mismas. Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).

De acuerdo a los resultados obtenidos (Figura 39), el número absoluto más elevado de edificaciones afectadas en algún grado se corresponde con las construidas antes de 1970. Lorca es una ciudad mediterránea con una larga historia que queda reflejada en su arquitectura. Su casco urbano cuenta con numerosas edificaciones que se remontan más de cinco siglos, sin embargo, las más abundantes de este grupo son las construidas en la primera mitad del siglo XX. Obviamente, ninguna de estas se hizo siguiendo unas directrices antisísmicas, por lo que los movimientos se limitaron a “sanear” de forma masiva todo aquello había sido levantado de forma rápida y vulnerable.

Los primeros escritos sobre construcciones sismorresistentes a nivel nacional aparecen en 1962, adjudicando a Lorca un valor de peligrosidad de grado VIII en la escala Mercalli. La materialización de estos datos da como resultado la primera ley sismorresistente, desarrollada a finales de la década de los sesenta, PGS-

1/PDS-1. Estuvo vigente veinticinco años, este periodo, el más largo de todas las leyes, coincidió con una etapa de fuerte expansionismo urbano. Pese a la aplicación de la citada norma, más de la mitad de los edificios construidos en este periodo se vieron afectados por el sismo analizado.

En el intervalo 1996-2002, correspondiente a la segunda norma, NCSE-94, se construyeron 268 edificaciones, de los cuales, 189 se vieron afectadas en diferente grado (70,5%). La norma sismorresistente fue un salto cualitativo en normativas sismorresistente, incluyó los estudios probabilísticos de peligrosidad, presentando por primera vez los datos de aceleración en roca. A Lorca se le asigna un valor de 0,12g.

La normativa vigente desde 2002 es NCSE-02. Durante los años de su vigencia se han edificado en el casco urbano 349 edificios, de los cuales experimentaron algún tipo de impacto 135, 38,6%. En la figura 40 se observa la distribución espacial de los edificios de Lorca según la normativa sismorresistente vigente en los años de construcción. Tal y como se ha señalado, el mayor número de edificios corresponde con las edificaciones previas a 1970, las cuales se localizan mayoritariamente en el centro de la ciudad donde domina un trazado urbano antiguo característico de una ciudad con impronta musulmana localizado en el área de influencia del castillo.

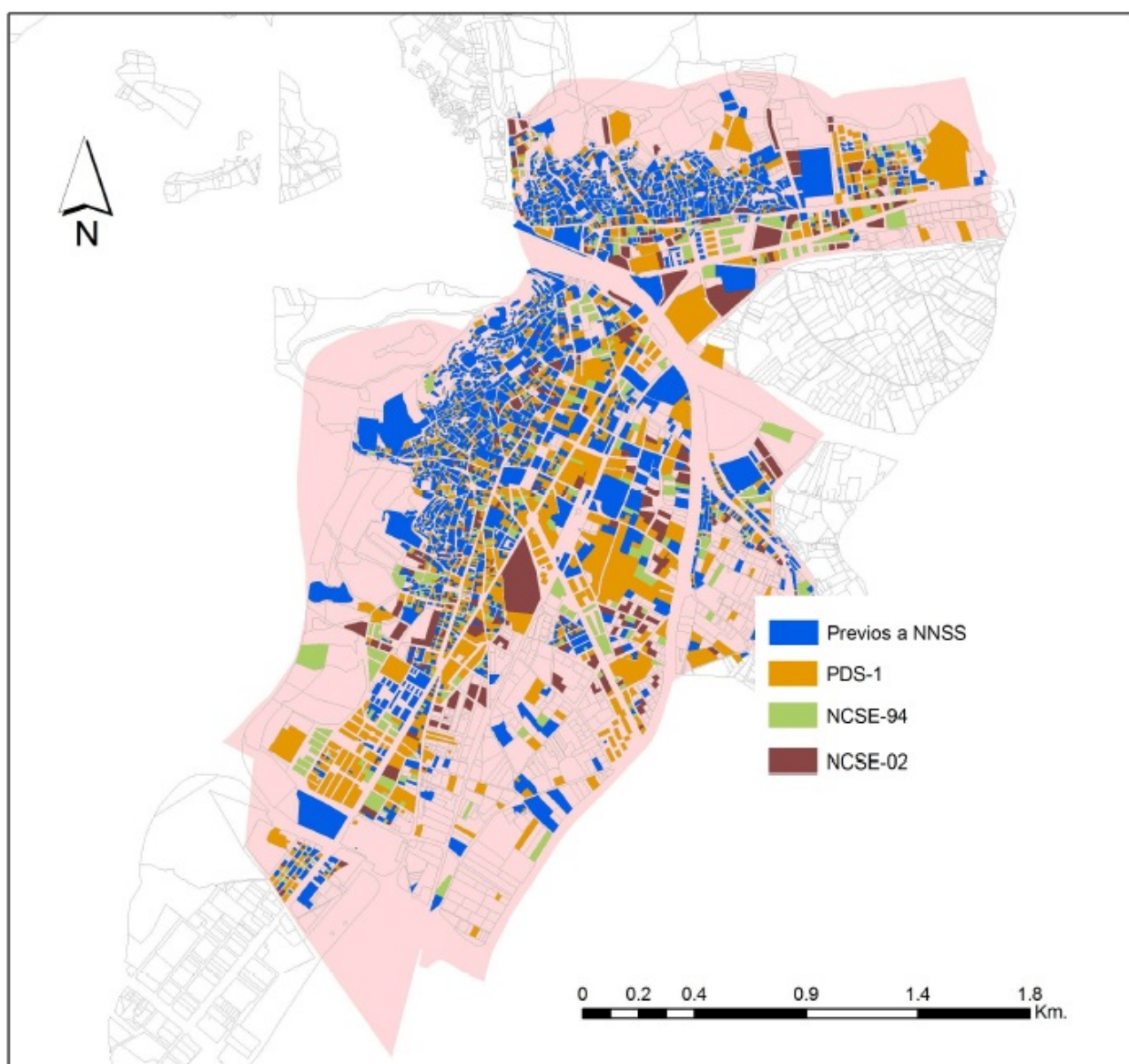


Figura 40: Distribución espacial de las edificaciones del casco urbano de Lorca según la norma sismorresistente aplicada. Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).

Si los mismos datos hasta ahora analizados son expuestos en términos relativos, se advierten (Figura 41) cuestiones controvertidas que despiertan sospechas acerca de la eficiencia en las normas aplicadas. Era de esperar que las construcciones previas a la primera normativa se vieran comprometidas en gran medida, sin embargo, reflejan el porcentaje más bajo de los cuatro intervalos, 42,4 %. Le sigue el de 1971-1995, el cual también tiene un elevado valor, 59,7 %, pero tratándose del periodo de tiempo más largo, tendría menos significación. Pero destacan significativamente los correspondientes al grupo entre 1996 y 2002 y >2003, que alcanzan el 70,5% y 63,8%, respectivamente. Ante estas cifras que animan a cuestionarse de forma seria lo acontecido tratando de buscar explicaciones, conviene prestar atención a la clasificación cualitativa de los daños para profundizar si ese nivel de impacto guarda una correlación en intensidad.

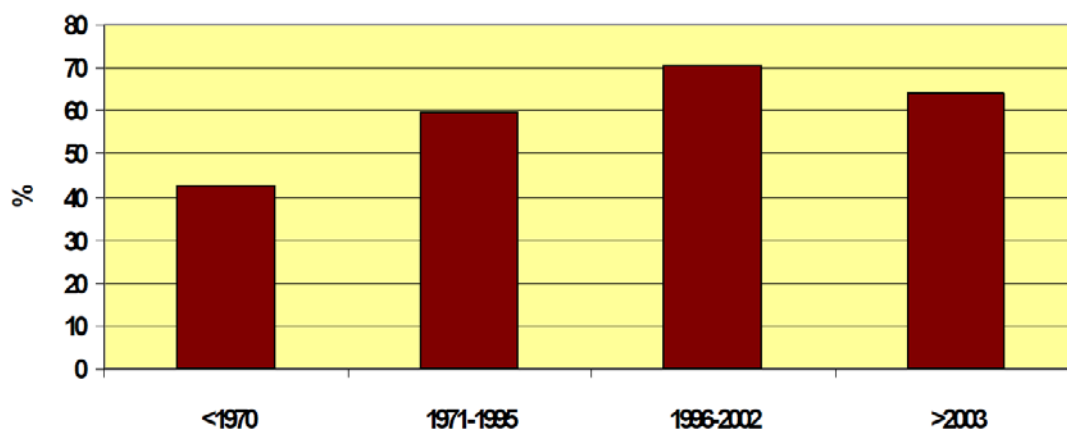


Figura 41: Porcentaje de edificios afectados según NNSS. Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).

Afortunadamente, parece que el nivel de alarma de los datos anteriores se mitiga en cierto modo al ponerse de manifiesto cierto grado de éxito en la aplicación de la normativa, aunque no libre de algunos comentarios. En este sentido, de acuerdo a los gráficos de la figura 42, se observa una mejora secuencial en el estado de afección de las edificaciones entre los edificios construidos sin norma hasta los ajustados a la última de ellas. Pese a ello, entre la primera normativa, PDS-1, y la segunda, NSCE-94, se advierte cierto empeoramiento que abre la puerta a estudios de detalle y microzonificación sísmica para buscar respuestas.



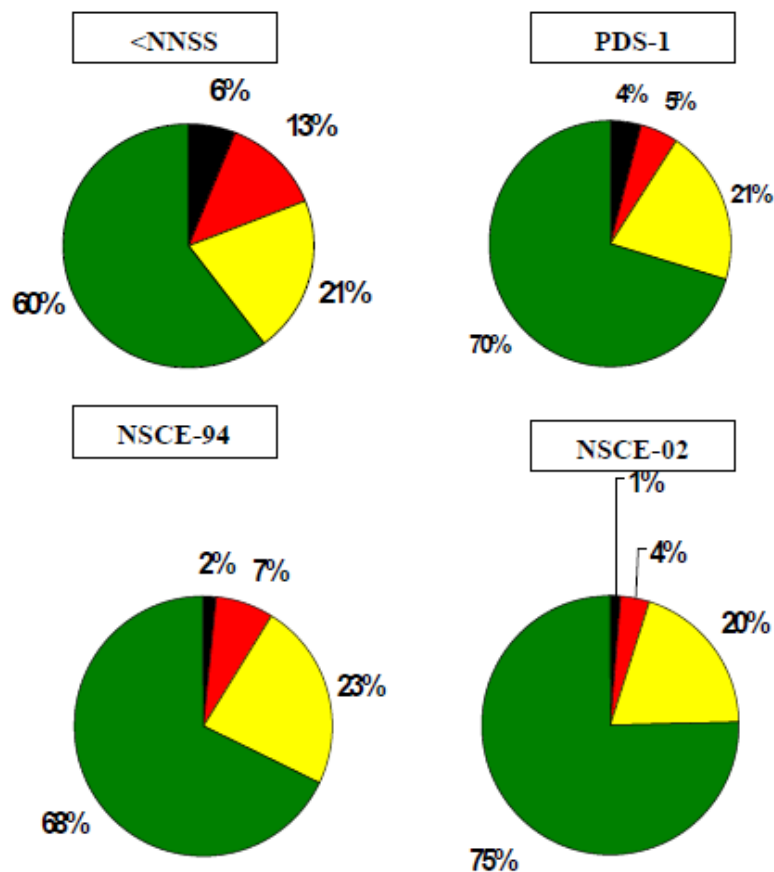


Figura 42: Porcentajes de edificios afectados según NNSS: <NNSS (previa normativa), PDS-1(1970-1994), NSCE-94(1995-2002), NSCE-02(2002-Actualidad.). Fuente: Torrecillas y Pérez (2015).

#### 4.3.2. El terremoto de 2 de Febrero de 1999 de Mula, Cuenca de Mula

El día 2 de febrero de 1.999, a las 14 horas, 45 minutos, 17 segundos (hora oficial) tuvo lugar un movimiento sísmico con una magnitud  $M_w = 4.8$  (escala Richter). El epicentro se localizó 5 Kms al Norte del municipio murciano de Mula, con las siguientes coordenadas epicentrales: Latitud  $38^\circ 09' N$ ; Longitud  $1^\circ 49' W$ ; Profundidad 1,1 km. Se le asignó una intensidad en la zona epicentral de grado VI (M.S.K), llegando incluso a VI-VII (M.S.K) en algunos puntos. La máxima intensidad se alcanzó en un área aproximada de 800 Km<sup>2</sup> englobando a los términos municipales de (Albudeite, Campos del Río y Mula) y fue sentido con intensidad III en localidades bastante alejadas de Valencia, Alicante, Jaén y Castellón.

Al terremoto principal le siguieron un total de 41 réplicas de diferente magnitud durante los 15 días posteriores al mismo, lo que es considerado por los expertos como una tasa de actividad baja, para lo que es corriente en el ámbito de las Cordilleras Béticas. Casi todas ellas se localizaron al SE del epicentro del sismo principal, con una disposición NE-SW. La réplica principal se registró a las 3 horas, 2 minutos, 29 segundos (hora oficial), del día 3 de febrero, con una magnitud en la escala de Richter de 3,6 e intensidad máxima de III-IV.

Los daños más importantes se registraron en los municipios más próximos al área epicentral (Albudeite, Campos del Río y Mula). La identificación inicial de posibles consecuencias se llevó a cabo bajo la coordinación de la Delegación del Gobierno a través de los Ayuntamientos de los municipios afectados, Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado, Dirección General de Vivienda, Arquitectura y Urbanismo (CCAA), Consorcio Regional de Bomberos y miembros de la Red Radio de Emergencia de la Delegación del Gobierno (REMER), destacando la ausencia de víctimas y un número de heridos reducido. Sin embargo, los daños fueron cuantiosos y generalizados, afectando fundamentalmente a infraestructuras, edificaciones y viviendas de particulares.

Tras una primera estimación efectuada por los técnicos de la Dirección General de Vivienda, Arquitectura y Urbanismo de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia durante los días inmediatos al sismo, se cuantificaron un total de unas 5.000 viviendas, aunque con diferentes niveles de afección de acuerdo con una tipología de daños similar a la organizada posteriormente en Lorca (Tabla 12).

Tabla 12. Sistema de clasificación de daños seguido para la evaluación del daño en las edificaciones. Fuente: RINAMED (1999)

<b>GRADO</b>	<b>Tipo de daños</b>	<b>Actuación</b>
Grado 1	Irreparable	Desalojo y demolición
Grado 2	Muy grave	Desalojo y reparación completa
Grado 3	Grave	Desalojo con reparación sustancial
Grado 4	Sustancial	Reparación estructural con apeos
Grado 5	Moderado	Reparación significativa de cerramientos y cubierta
Grado 6	Leve	Grietas en cerramientos y cubiertas
Grado 7	Muy leve	Fisuras

Tabla 13. Viviendas afectadas por el movimiento sísmico del día 2 de febrero de 1999. Fuente: RINAMED (1999)

<b>GRADO</b>	<b>Mula</b>	<b>Campos del Río</b>	<b>Albudeite</b>	<b>Total viviendas</b>
Grado 1	20	10	4	34
Grado 2	80	35	8	123
Grado 3	700	50	10	760
Grado 4	1.000	60	50	1.110
Grado 5	1.000	50	100	1.150
Grado 6	800	40	150	990
Grado 7	400	205	178	783
Total	4.000	450	500	4.950
Nº Viv. censadas	7.070	790	603	8.463

A pesar de que tras la primera estimación se detectó un número de viviendas afectadas muy elevado, si se tiene en cuenta la tipología de daños empleada en el triage, en líneas generales, se puede calificar al evento de moderado, ya que de las casi 5.000 viviendas afectadas, tan solo 34, el 0,6%, sufrieron daños "irreparables", siendo necesaria la demolición de las mismas. Por municipios, el número de viviendas irreparables oscilaba entre el 2,2% de Campos del Río y el 0,5% de Mula (Tabla 13).

Un 2,5% de las viviendas sufrieron daños "Muy Graves", lo que implicaba su desalojo hasta que se acometiera la reparación completa de las mismas. De nuevo, en números relativos, fue Campos del Río, en el que, con el 7,7%, más viviendas resultaron afectadas con este tipo de daños, frente al 2 % de Mula y el 1,6% de Albudeite.

El 15,3% del total de las viviendas afectadas registraron daños considerados como "Graves", lo que implicaba desalojo y reparación sustancial de la vivienda. En este caso, es Mula el municipio que en términos relativos tuvo un mayor número de viviendas afectadas, el 17,5%, con un grado de afección "Grave" frente al 11,1% de Campos del Río y el 2% de Albudeite.

El resto de viviendas presentó un tipo de daños que oscilaba de "Sustancial" a "Muy Leve", pero que en cualquier caso era compatible con la habitabilidad de la vivienda.

Como consecuencia del terremoto se produjeron también desprendimientos de rocas en varios puntos de la Región, procedentes de vertientes inestables que en su discurrir afectaron a diferentes tipos de infraestructuras. Esta fue la causa de los cortes temporales de circulación en algunas carreteras. Uno de estos

desprendimientos fue también la causa de la caída de un poste de media tensión, lo que provocó un incendio forestal en la S<sup>a</sup> de Ricote que llegó a tener un frente de 200 mts.

#### 4.4. Conclusión

De acuerdo al balance de pérdidas y a las actuaciones llevadas a cabo durante el periodo de emergencia, recuperación y resiliencia, si comparamos el evento de Mula con el de Lorca, se puede afirmar con certeza que el primero fue menor en importancia socioeconómica que el segundo. Dadas las características físicas similares de ambos eventos naturales (magnitud, superficialidad del hipocentro y naturaleza del suelo donde se localizan las poblaciones afectadas), y aunque los daños ocasionados por los seísmos son de naturaleza multicausal, bien se pueden aislar la variable vulnerabilidad para explicar lo acontecido y que respaldar la hipótesis de la construcción humana del riesgo como principal factor responsable de la catástrofe. En efecto, en estos dos casos acontecidos en un área geográfica tan e intervalo temporal tan reducidos, se advierte que la acentuación de esos efectos perniciosos son respuesta a un incremento anterior de de dicho factor en ambas localidades, o lo que es lo mismo, de una serie de dimensiones sociales que han jugado un papel amplificador del funcionamiento de la naturaleza sobre aquellos expuesto. En consecuencia, y dada la actividad sísmica moderada que se viene registrando en el área de estudio, la continuidad de una dinámica vulnerable en los procesos de ocupación del territorio tendrían nuevamente como resultado un futuro fracaso que se maximiza en sus efectos negativos, no por una intensificación de los fenómenos naturales, si no por un incremento de lo vulnerable.

#### 5. REFERENCIAS

Abelló de la Torre, M.A. (1988): *Historia y evolución de las repoblaciones forestales en España*. Universidad Complutense de Madrid. Colección Tesis Doctorales nº 126/88. 749 pp.

Alfaro, P., González, M., Brusi, D., Martín, L., Juan, A., Martínez Díaz, J. J., ... y Villalba, R. (2011): *Lecciones aprendidas del terremoto de Lorca de 2011*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 19, 245-260.

Alias, L.J., López Bermúdez, F., Marín, P.; Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J. (1997): Clay minerals and soil fertility loss on Petric Calcisol under a semiarid mediterranean environment. *Soil Technology*, 10: 9-19. Netherlands.

Alonso Sarria, F., López Bermúdez, F., Conesa García, C., Fernández Gambín, C. (1994): Modelos de infiltración. Ajuste a datos experimentales obtenidos mediante lluvia simulada en badlands. En J. Arnaez, J.M. García Ruiz y A. Gómez Villar (Eds.) *Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño, 119-132.

Alpert P, Neeman BU, Shay-El Y. (1990): Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42A: 65-77

Arana, R., Rodríguez, T., Mancheño, M. A., Guillén, F., Ortiz, R., Fernández, M. T., Del Ramo, A. (1999): *El Patrimonio Geológico de la Región de Murcia*. Fundación Séneca, Consejería de Educación y Cultura. 400 pp. Murcia.

Arana,R., Rodriguez Estrella,T., Mancheño,M.A., Ortiz,R. (1992): *Lugares de interés geológico de la región de Murcia*. Agencia para el Medio Ambiente y la Naturaleza. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Murcia, 219 pp.

Ayala-Carcedo, F.J. (2002): El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 33: 79-92.

Ayala Carcedo, F. J., Olcina Cantos, J. (2002). Riesgos naturales. Ariel.

Bautista Martín, J. (1989): Las avenidas en la cuenca del Segura y los planes de defensa. En A. Gil Olcina y A. Morales Gil, (Eds.) *Avenidas fluviales e Inundaciones en la Cuenca del Mediterráneo*. Alicante, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo: 469-500.

[Beck, U. \(1998\): \*La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad\*. Paidós ibérica.](#)

[Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A. \(1998\): A simple technique for measuring rainfall interception by small shrub: interception flow collection box. \*Hydrological Processes\* 12 \(3\): 471-482.](#)

[Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A. \(1999\): \*Intercepción en algunas especies del matorral mediterráneo\*. Colección Cuadernos de Ecología y medio Ambiente. Universidad de Murcia, 202 pp.](#)

[Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. \(1999a\): 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., Delgado Iniesta, M.J., López Bermúdez, F. \(1999b\): Interacciones entre el suelo y la vegetación a lo largo de un transecto en un ecosistema semiárido \(El Ardal, Murcia\). \*Cuaternario y Geomorfología\*, 13: 17-29.](#)

[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 \(Murcia, Spain\). En J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu, \(Eds.\) \*Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millennium\*. Geoforma Ediciones, Logroño, 1459-1470.](#)

[Belmonte Serrato, F., Romero Díaz A., Martínez Lloris, M. \(2005\): Impactos ambientales asociados a la construcción de obras de corrección hidrológica en la cuenca del río Quipar \(Sureste de España\): apertura de caminos de acceso. \*Cuadernos de Investigación Geográfica\* 31: 97-106.](#)

[Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A. \(2013\): Experiencias de Interceptación de la lluvia por la vegetación en la Región de Murcia. En A. Romero Díaz y F. Belmonte Serrato \(Coords\) \*Estudios de Interceptación de la lluvia por la vegetación en España\*. IEA \(Instituto Euromediterráneo del Agua\). Murcia, 123-146.](#)

[Beven, K. \(2002\): Runoff Generation in Semiarid Areas. En L. Bull & M.J. Kirkby, \*Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semiarid Rivers\* John Wiley & sons Chichester, 57-106.](#)

[Boix-Fayos, C., Martinez-Mena, M., Arnau-Rosalen, E., Calvo-Cases, A., Castillo, V., Albaladejo, J. \(2006\): Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. \*Earth-Science Reviews\*, 78\(3-4\): 267-285.](#)

[Bracken, L.J., Kirkby, M.J. \(2005\): Differences in hillslope runoff and sediment transport rates within two semi-arid catchments in southeast Spain. \*Geomorphology\*, 68\(3-4\): 183-200.](#)

[Brookes, C.J., Hooke, J.M., Mant, J. \(2000\): Modelling vegetation interactions with channel flow in river valleys of the Mediterranean region. \*Catena\*, 40\(1\): 93-118.](#)

[Bryan, R., Jones, J. A. A. \(1997\): The significance of soil piping processes: inventory and prospect. \*Geomorphology\*, 20: 209-218.](#)

[Buforn, E., y Sanz de Galdeano, C. \(2001\): Focal mechanism of Mula \(Murcia, Spain\) earthquake of February 2, 1999. \*Journal of Seismology\*, 5\(2\), 277-280.](#)

[Burton, I., Kates, R. W. \(1964\): The Perception of Natural Hazards in Resource Management. \*Natural Resources Journal\*, vol. III, 3, 412-441.](#)

[Camel Avila, M. \(2000a\): Étude des paléoenvironnements holocènes dans le bassin du Bas-Guadalentin \(région de Murcia, Espagne\), \*Géomorphologie\*, 3: 147-160.](#)

Camel Avila, M. (2000b): Procesos hídricos holocenos en el bajo Guadalentín (Murcia, SE España). *Cuaternario y Geomorfología. Spanish Journal of Quaternary & Geomorphology*. Sociedad Española de Geomorfología and Asociación Española para el Estudio del Cuaternario. Vol. 14 (3.4): 65-78.

Calvo García-Tornel, F. (1982): *El riesgo, un intento de valoración geográfica*. Academia Alfonso X el sabio.

Calvo García-Tornel, F. (1984): La Geografía de los riesgos. *Geocrítica* 54 Universidad de Barcelona. 39 pp.

Calvo García-Tornel, F. (2006): Peligro de inundaciones en el Sureste peninsular. E G. Chastagnaret y A. Gil Olcina, (eds.): Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental. Madrid, Casa de Velázquez, Universidad de Alicante, pp. 215-238.

Calvo García-Tornel, F. (2001): *Sociedades y territorios en riesgo*. Barcelona: Ediciones del Serbal (Colección La Estrella Polar, 31).

Calvo García-Tornel, F., Granell Pérez, C. (2009a): Valoración social del riesgo por inundación en el litoral meridional de la Región de Murcia. *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, (13), 295.

Calvo García-Tornel, F., Canales Martínez, G. (2009b): Una planificación urbanística antisísmica en el siglo XIX y su evolución posterior. *Murgetana*. Año LX, n. 121, pp. 191-207

Cammeraat, L.H., Imeson, A.C. (1998): Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and southern France. *Geomorphology*, 23(2-4): 307-321.

Cammeraat, L.H., Imeson, A.C. (1999): The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. *Catena*, 37(1-2): 107-127.

Cammeraat, L.H. (2002): A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1201-1222.

Campins, J., Genovés, A., Jansá, A., Guijarro, J.A., Ramis, C. (2000): A catalogue and a classification of surface cyclones for the western mediterranean Int. J. Climatol. 20: 969-984

Cardona, O. D. (2001): La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión. *International Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice* (pp. 29-30).

CARM (1995): *Memoria descriptiva del Plan de Ordenación de Recursos Naturales de Sierra Espuña*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad Autónoma de Murcia.

Castejón Porcel, G., Romero Díaz, A. (2014): Inundaciones en la Región de Murcia en los inicios del siglo XXI. *Biblio 3W* XIX

Castillo, V., González-Barberá, G., Mosch, W.M., Navarro-Cano, J., Conesa-García, C., López-Bermúdez, F. (2003): Seguimiento y evaluación de los trabajos de restauración hidrológico-forestal. *Seguimiento y evaluación de los efectos sobre el medio natural de la sequía y los procesos erosivos en la región de Murcia*. Consejería de Agricultura de la CARM, Murcia.

Cerda, A. (1997): Soil erosion after land abandonment in a semiarid environment of southeastern Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 11: 163-176.

Cerda, A. (2001): *Erosión hídrica del suelo en el territorio valenciano. El estado de la cuestión a través de la revisión bibliográfica*. Geoforma Ediciones, Logroño, 79 pp.

Chaparro Fuster, J. (1994): *Consecuencias ambientales de repoblaciones forestales mediante aterrazamientos en ambientes semiáridos*. Memoria de Licenciatura (Inédita). Departamento de Ecología y Medio Ambiente. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 156 pp.

CHS (2016) *Cronología de riadas en la cuenca del Segura*

<https://www.chsegura.es/chs/informaciongeneral/elorganismo/unpocodehistoria/riadas.html>. Consultado el 15/6/2016.

Conesa García, C. (1985): Inundaciones en Lorca (Murcia): Riesgo y expectación” *Papeles de Geografía* 10 33-47.

Conesa García, C., Solís, L., Sánchez Medrano, R., Cabezas, F. (1994) “Aplicación de las técnicas de prospección geoelectrica al estudio de la evolución de formas de drenaje y facies sedimentarias del Cuaternario en el Valle del Guadalentín” *Cuadernos de Geografía*, 55:1-15.

Conesa García, C., García García, E. (2003): Las áreas históricas de inundación en Cartagena: Problemas de drenaje y actuaciones. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 35:79-100.

Couchoud Sebastia, R., Sánchez Feriosio, R. (1984): *Hidrología histórica del Segura: de los anales del Segura. (Edición facsímil de la obra: Compendio cronológico de las riadas, avenidas e inundaciones que sufrió la huerta del río Segura)*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 115 pp.

Cutter, S. L. (1996): *Vulnerability to Environmental Hazards*. *Progress in Human Geography*, 20 (4), 529-539.

Cutter, S. L.; Boruff, B. J., Shirley, W. L. (2003): Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84 (2), 242-261.

De Vente, J., Poesen, J., Verstraeten, G., Van Rompaey, A., Govers, G. (2008): Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60 (3-4): 393-415.

De Vente, J., Solé-Benet, A., Boix-Fayos, C., Nainggolan, D., Romero-Díaz, A (2009): Biophysical- and socioeconomic aspects of land degradation in the Guadalentín (SE Spain): Towards understanding and effective soil conservation. En A. Romero Díaz, F. Belmonte Serrato, F. Alonso Sarria, F. López Bermúdez (Eds.) *Advances in Studies on Desertification*. Universidad de Murcia, Murcia, 215-219.

Dirección General de Protección Civil de la Consejería de Presidencia de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (2006 y 2015): *Plan Especial de Protección Civil ante el riesgo sísmico en la Región de Murcia. SISMIMUR*.

Fisher, G.C., Romero Diaz, A., López Bermudez, 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 (Biología ambiental), B3, Universidad de Murcia, pp. 91-102.

Francis, C., Thornes, J.B., Romero Diaz, 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): 211-225.

García Salmerón, J. (1995): *Manual de repoblaciones II*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid

Geiger, F. (1970): Die Aridität in Südostspanien en Stuttgarter Geographische Studien, Band 77

Genoves, A., Jansá, A. (1989): Statistical approach to mesoscale non-alpine West Mediterranean cyclogenesis. WMO/TP, 298: 77-85.

- Gil Olcina (Eds.): *Riesgo de inundaciones en el mediterráneo occidental* Casa de Velázquez – Universidad de Alicante. 91-114.
- Gómez Espín, J.M. (2004): *Aprovechamiento Integral del Agua en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras-Murcia)*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, 190 pp.
- Govers, G., Van Oost, K., Poesen, J. (2006): Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover, soil erosion and land use change. *Geoderma*, 133(1-2): 19-31.
- Groome, H. (1989): Historia de la política forestal. En *El libro rojo de los bosques españoles*. ADENA, 137-150.
- INES (2012): *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012*. Región de Murcia. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Instituto Geográfico Nacional, Instituto Geológico y Minero de España, Universidad Complutense de Madrid, UPM, Asociación Española de Ingeniería Sísmica (2011): *Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011*.
- Jansá, A., Genovés, A., Riosalido R., Carretero O. (1996): Mesoscale cyclones vs. heavy-rain and MCS in the Western Mediterranean. *MAP Newsletter*, 5: 24–25.
- Jansá, A., Genovés, A., García-Moya, J.A. (2000): Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 1: Numerical Experiment concerning the Piedmont flood case. *Meteorol. Appl.* 7: 323-333
- Jansá, A., Genovés, A., Picornell, M.A., Campins, J., Riosalido, R., Carretero, O. (2001): Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorol. Appl.* 8: 43-56
- Juntti, M., Wilson, G.A. (2005): Conceptualizing desertification in Southern Europe: stakeholder interpretations and multiple policy agendas. *European Environment*, 15(4): 228-249.
- Kaztman, R. (2000): *Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social*. BID-Banco Mundial-CEPALIDEC, 5, 275-301.
- Lara, A.; Saurí, D.; Ribas, A., Pavón, D. (2010): Social perceptions of floods and flood management in a Mediterranean area (Costa Brava, Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2081-2091.
- Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P.M., Krichak, S.O., Jansá, A., Maher, P., Sanna, A., Trigo, I.F., Trigo, R. (2006): Cyclones in the Mediterranean Region: Climatology and Effects on the Environment” P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli and R. Boscolo (Eds.) *Mediterranean Climate Variability Developments in Earth and Environmental Sciences* 4: 1-421
- Llasat, M.C. (2009): High magnitude storms and Floods in J.C. Woodward (Ed.) *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford University Press. Oxford. 513-540.
- López Bermúdez, F., Navarro Hervás, F., Montaner Salas, E., (1978): Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia. *Papeles de Geografía Física*, 8: 49-91.
- López Bermúdez, F., Gutiérrez Escudero, D. (1983); Descripción y experiencias de la avenida e inundación de octubre de 1982 en la Cuenca del Segura. *Estudios Geográficos*, 44 (170-171): 87-100.
- 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*, Tomo X (1- 2): 113-126. Num. monográfico: "Procesos actuales en Geomorfología". Logroño. La Rioja.

- López Bermúdez, F., Torcal Sainz, L. (1986): Procesos de erosión en túnel (piping) en cuencas sedimentarias de Murcia. Estudio preliminar mediante difracción de rayos X y microscopio de barrido. *Papeles de Geografía*, 11: 7-20.
- López Bermúdez, F., Thornes, J.B., Romero Díaz, A., Francis, C., Fisher, G. (1986): Vegetation-Erosion relationships: Cuenca de Mula, Murcia. Spain. En F. López Bermúdez & J.B. Thornes (eds.) *Estudios sobre Geomorfología del sur de España*, Murcia, 101-104.
- López Bermúdez, F., Navarro Hervás, F., Romero Díaz, A., Conesa García, C., Castillo Sánchez, V., Martínez Fernández, J., García Alarcón, C. (1988): *Geometría de cuencas fluviales: Las redes de drenaje del alto Guadalentín*. Proyecto LUCDEME. Monografía 50, 229 pp. ICONA, Madrid.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. (1989): Piping Erosion and badland development in South-East Spain. *Catena Supplement*. 14: 59-73. Arid & Semi-Arid Environment. Geomorphological & Pedological Aspects.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J. (1991): Soil erosion in a Semi-Arid Mediterranean environment. El Ardal Experimental field (Murcia, Spain). En M. Sala, J.L. Rubio, J.M. García Ruiz (Eds.) *Soil Erosion Studies in Spain*. Geoforma Ediciones. Logroño. 137-152.
- López Bermúdez, F., Alonso Sarría, F., Romero Díaz, A., Conesa García, C., Martínez Fernández, J., Martínez Fernández, J. (1992): Caracterización y diseño del campo experimental de "Los Guillemos" (Murcia) para el estudio de los procesos de erosión y desertificación en litologías blandas. En F. López Bermúdez, C. Conesa García, A. Romero Díaz, (Eds.) *Estudios de Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología y Area de Geografía Física Universidad de Murcia, 151-160.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. (1993): Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 18-19: 7-28.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J., Martínez Fernández, J. (1996): The El Ardal Field Site: Soil and Vegetation Cover. En J.Brandt and J. Thornes, (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. (1998a): Vegetation and soil erosion under semi-arid mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain). *Geomorphology*, 24: 51-58.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Cabezas Calvo-Rubio, F., Rojo Serrano, L., Martínez Fernández, J., Boër, M., Del Barrio, G. (1998b): The Guadalentín Basin, Murcia, Spain. In *Atlas of Mediterranean Environments in Europe. The Desertification context*. En P. Mairota, J.B. Thornes & N. Geeson (Eds.) John Wiley & Sons, Chichester, 130-142 pp.
- López Bermúdez, F., Conesa García, C., Alonso Sarría, F. (1998c): Ramblas y barrancos mediterráneos: Medio natural y respuesta humana. *Mediterráneo*, 12-13: 223-242.
- López Bermúdez, F., Conesa García, C., Alonso Sarría, F. (2002): Floods: Magnitude and Frequency in Ephemeral Streams of the Spanish Mediterranean Region. En L. Bull, L. y M.J. Kirkby, *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semiarid Rivers*. John Wiley & sons Chichester, 57-106.
- López Bermúdez, F. (2014): El riego por boquera en agricultura de secano, técnica hidráulica tradicional de lucha contra la desertificación en el sureste ibérico semiárido. En J. Arnáez Vadillo, P. González Sampérez, T. Lasanta Martínez, B. Lorenzo Valero Garcés. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*. 405-414.
- López-Comino, J.A., Mancilla, F.D.L., Morales, J., Stich, D. (2012): Rupture directivity of the 2011. MW 5.2. Lorca earthquake (Spain). *Geophysical Research Letters*, 39.



Marín Sanleandro, P., Romero Díaz, A., Sánchez Soriano, A. (2004): Influencia de las propiedades químicas del suelo en el proceso de formación de piping (Murcia, Sureste de España). *Fourth International Conference on Land Degradation*, Cartagena.

Martín Vide, J.P. (2003): *Ingeniería fluvial* Politext, Àrea d'Enginyeria Civil. Ediciones UPC. Universitat Politècnica de Catalunya.

Martínez Artero, J.A. (2001): Repoblaciones forestales en la cuenca del Río Guadalentín. *Montes*, 65:66-69.

Martínez-Guevara, J. B., Fernández Navarro-Soto, S. (1987): Catálogo sísmico de la región de Murcia (Sismicidad histórica hasta el siglo XVIII). Informe interno IGN, 71 pp.

Martínez-Guevara, J. B. (2011): Sismos del 11 de mayo de 2011 en Lorca. *Papeles de Geografía*, 53-54, 199-213.

Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J., Alonso Sarria, F. (1991): El matorral semiárido del sureste de España. Aportación metodológica para su evaluación. *Studia Oecológica*, 8: 97-105.

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. *Catena*, 25 (1-4): 153-167. Special Issue Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Changes, J.Poesen, G.Govers & D.Goossens (Editors).

Martínez Fernández, J., Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F. (1996): Evolution of vegetation and pedological characteristics in fields with different age of abandonment: A case study in Murcia (Spain). En J.L. Rubio;A.Calvo (Eds), *Desertification and Land degradation in Mediterranean Environments*, Geofoma Ediciones, 279-290. Logroño.

Martínez Solares, J. M., Mezcuca, J. (2002): *Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a. C.-1900)*. IGN. Monografía nº 18, Madrid, 253 pp.

Maurandi Guirado, A. (1995): *Defensa contra crecidas. Plan de defensa contra avenidas. Agua y futuro en la Región de Murcia*. Asamblea Regional de Murcia: 541-466.

Milla Riera, A. (1988): Los embalses en la lucha contra las inundaciones. ICOLD-MOPU. *Segundas Jomadas Espartólas de Presas*. Sevilla

Millán, M., Estrela, J.M., Caselles, V. (1995): Torrential precipitations on the Spanish east coast: The role of the Mediterranean sea surface temperature. *Atmospheric Research*, 39 1-16

Morales Gil, A. (1969): El riego con aguas de avenidas en las laderas subáridas. *Papeles de Geografía*, 1: 167-196.

Morales Gil, A. (1989): Abandono y desorganización de los sistemas de riegos de turbias. Su incidencia en la escorrentía. *Los Paisajes del Agua*. Universidad de Valencia, Homenaje al Prof. Antonio López Gómez. Valencia, 199- 204.

Morales Gil, A. (2006): Usos tradicionales del suelo y riesgo de avenidas en las tierras del litoral mediterráneo español. En G. Chastagnaret y A. Gil Olcina (Eds.) *Riesgo de inundaciones en el mediterráneo occidental* Casa de Velázquez – Universidad de Alicante, 91-114

Navarro Hervás, F. (1991): *El sistema hidrográfico del Guadalentín*. Cuadernos técnicos nº 6. Consejería de Política Territorial, Obras Públicas y Medio Ambiente. Comunidad Autónoma de Murcia, 256 pp.

Olcina Cantos, J. (2010): El tratamiento de los riesgos naturales en la planificación territorial de escala regional. *Papeles de Geografía*, (51-52), 223-234.

Ortigosa Izquierdo, L.M. (1991): *Las repoblaciones forestales en La Rioja: resultados y consecuencias ambientales*. Geoforma Ediciones. Monografía nº 2, Logroño, 149 pp.

Pérez Morales, A. (2008): *Riesgo de inundación y políticas sobre el territorio en el sur de la Región de Murcia*. Tesis en Red. Universidad de Murcia.

Pérez Morales, A., Navarro Hervás, F., Álvarez Rogel, Y., (2016): Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad social en poblaciones afectadas por el peligro de inundación. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 62, 133-159.

Pérez Morales, A., Romero Díaz., Caballero Pedraza, A. (2016): *Urbanization process and its influence in the increase in flooding (Region of Murcia, Campo de Cartagena-Mar Menor, Southeast Spain)*. Spanish contribution to 33rd International Geographical Congress. Beijing 2016. AGE, 92-103.

Perlín, J. (1999): *Historia de los bosques. El significado de la madera en el desarrollo de la civilización*. Ed. GAIA Proyecto 2050, 506 pp.

Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003): *Gully erosion and environmental change: importance and research needs*. *Catena*, 50(2-4): 91-133.

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E., Escrig Barberá, J., Ruescas, A.B., Mollá, B. (2006): La temperatura superficial del mar como señal de alerta en las grandes ciclogénesis mediterráneas. En G. Chastagnaret y A. Gil Olcina (Eds.) *Riesgo de inundaciones en el mediterráneo occidental* Casa de Velázquez – Universidad de Alicante. Pp 91-114

Radinovic, D. (1987): *Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate*, WMO, PSMP Rep. Ser. num 24.

Raschky, P. A. (2008): Institutions and the losses from natural disasters. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 627-634.

Recuero, A. (1992): Entre la sequía y la inundación. *Revista del MOPT*: 6-13.

Rigo, T., Llasat, M.C. (2004): A Methodology for the Classification of Convective Structures using Meteorological Radar: Application to Heavy Rainfall Events on the Mediterranean Coast of the Iberian Peninsula. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Ed. European Geosciences Union, 4, no. 1, 59–68.

Riosalido, R., Ferraz, J., Álvarez, E., Cansado, A., Martín, F., Elizaga, F., Camacho, J.L., Martín, A. (1997): A flash flood event in the Spanish Pyrenees: the Biescas case. *INM/WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, Palma de Mallorca, 151–158.

RINAMED (1999): Terremoto en Mula (Murcia, 2-2-1.999).

En: [http://www.rinamed.net/es/casos/mula\\_terrem/mula\\_terrem.htm](http://www.rinamed.net/es/casos/mula_terrem/mula_terrem.htm) (Consulta: 25-08-2016).

Robledano Aymerich, F., Zapata Pérez, V.M., Martínez López, V., García Meseguer, A.J., García Castellanos, F.A., Zamora López, A., Pérez Navarro, M.A. (2016): Indicadores de biodiversidad en campos abandonados: flora y fauna. En A. Romero Díaz (Coord.) *Abandono de cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia, 111-137.

Rodríguez Estrella, T., Almoguera Lucena, J. (1986): La Neotectónica al NE de Lorca (Murcia) y su incidencia en el canal del Trasvase Tajo-Segura. *I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio*. Instituto Geográfico Nacional (MOPU) nº 7 (1989), pp. 301-318.

Rodríguez Estrella, T. (2007): La geología. En A. Romero Díaz y F. Alonso Sarria (Coords.), *Atlas Global de la Región de Murcia*. La Verdad, CMM S.A. 156-165.

- Rojo Serrano, L. (2003): Description of the land use changes in relation to type of crops, landscapes and physiographic units involved in the Guadalentín basin. *Deliverable 3.3a, DESERTLINKS*
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. (1985): Procesos de erosión en Cuencas Neógenas-Cuaternarias: La Cuenca de Mula. *Guía de Itinerarios Geográficos de la Región de Murcia*, 83-97. Universidad de Murcia.
- 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. Germany.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Silva, P.G., Rodríguez Estrella, T., Navarro Hervás, F., Díaz Del Olmo, F., Goy, J.L., Zazo, C., Baena, R., Somoza, L., Mather, A., Borja, F. (1992a): Geomorfología de las cuencas neógeno-cuaternarias de Mula y Guadalentín. Cordilleras Béticas, Sureste de España. En F. López Bermúdez, C. Conesa García, A. Romero Díaz, (Eds.) *Estudios de Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología y Area de Geografía Física Universidad de Murcia, 749-786.
- Romero Díaz, A., Cabezas, F., López Bermúdez, F. (1992b): Erosion and fluvial sedimentation in the River Segura Basin. Spain. *Catena*, 19: 379-392.
- Romero Díaz, A., Barbera, 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: 229-243. San Sebastián.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Belmonte Serrato, F., Barberá, G.G. (1998): Erosión y escorrentía en el campo experimental de "El Ardal" (Murcia). Nueve años de experiencias. *Papeles de Geografía*, 27: 129-144. Universidad de Murcia.
- Romero Díaz, A., 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. John Wiley and Sons.
- 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*. Editum, Universidad de Murcia, 337 pp.
- Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F. (2002): Erosión del suelo en ambiente semiárido extremo bajo diferentes tipos de litologías y suelos. En A. Pérez González, J. Vagas y M.J. Machado (Eds.) *Aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. 315-322. ITGE, Serie Geológica 1, Madrid.
- Romero Díaz, A. (2007): Las Inundaciones. En A. Romero Díaz y F. Alonso Sarría, (Coord.) *Atlas Global de la Región de Murcia*. CajaMurcia, La Verdad CMM S.A. pp. 250- 259
- Romero Díaz, A., Martínez, M., Alonso, F., Belmonte, F., Marín, P., Ortiz, R., Rodríguez, T., Sánchez, M.I. (2007a): *Los diques de corrección hidrológica. Cuenca del Río Quipar (Sureste de España)*. Editum, Universidad de Murcia, 270 pp.
- Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F., Faulkner, H. (2007b): The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena* 69: 82-293.
- Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F. (2008): Erosión en forestaciones aterrazadas en medios semiáridos: Región de Murcia. Editum, Universidad de Murcia y Academia Alfonso X El Sabio, Murcia, 192 pp.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. (2009): Erosión y desertificación en cuencas neógeno-cuaternarias de la Región de Murcia. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua (IEA), 153 pp.

- Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P., Sánchez Soriano, A. (2009): Procesos de “piping” en la Región de Murcia (sureste de España). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 35 (1): 87-117. Universidad de La Rioja, Logroño.
- Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Ruiz Sinoga, J.D. (2011): Evolución de piping en campos abandonados de cultivo regenerados. En Ortiz Silla y A. Sánchez Navarro (Eds.) *Control de la degradación y uso sostenible del suelo*. Murcia, 197-200.
- Romero Díaz, A., Ruiz Sinoga, J.D. (2015): Assessment of soil erosion through different experimental methods in the Region of Murcia (Southeast Spain). In Alan P. Dykes, Mark Mulligan and John Wainwright (eds.) *Monitoring and Modelling Dynamic Environments*. Wiley-Blackwell, 11-44.
- Romero Díaz, A., Martínez Hernández, C., Belmonte Serrato, F. (2016): Procesos de erosión en áreas abandonadas de la Región de Murcia. En A. Romero Díaz (Coord.) *Abandono de cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia, 85-110.
- Romero Díaz, A. (Coord.) (2016): *Abandono de cultivos en la región de Murcia. Consecuencias ecogeomorfológicas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia, 263 pp.
- Romero, R. Sumner, G., Ramis, C., Genovés, A. (1999): Classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the spanish Mediterranean area. *International Journal of Climatology* 19: 765-785.
- Roselló, V.M. (1985): Ramblas y barrancos: un modelo de erosión mediterránea. *IX Coloquio de Geógrafos Españoles*. Universidad de Murcia. Murcia, pp. 177-184.
- Ruiz de La Torre, L (1987): La cobertura vegetal como elemento protector frente a las avenidas. Corrección de cuencas y Conservación de Suelos. En Avenidas, sistemas de previsión y alarma de avenidas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. Salazar. ETSIM de Madrid, 918 pp.
- Sánchez Soriano, A., Romero Díaz, A., Marín Sanleandro, P. (2003): Procesos de piping en campos de cultivo abandonados (Campos del Río, Murcia). En R. Bienes y M.J. Marques (Eds.) *Control de la erosión y degradación del suelo*. Madrid, 527-531.
- Sánchez Soriano, A., Marín Sanleandro, P., Romero Díaz, A. (2004): Influencia de las propiedades físicas del suelo en el proceso de formación de pipes (Región de Murcia, Sureste de España). *Fourth International Conference on Land Degradation*”, Cartagena.
- Sánchez Soriano, A. (2012): *Procesos de erosión subsuperficiales (piping) en la Región de Murcia*. Tesis doctoral, Universidad de Murcia.
- Sanz de Galdeano, C. (1985): La fracturación del borde sur de la Depresión de Granada (discusión acerca del escenario del terremoto del 25-XII-1884).
- Segura Beltrán, F. (1987). *Las ramblas valencianas*. Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia. Tesis Doctoral, 476 pp.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. (1992): Características estructurales y geométricas de la falla de desgarre de Lorca-Alhama. *Geogaceta*, 12:7-10.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Lario, J., Bardají, T. (1997): Paleoseismic indications along “aseismic” fault segment in the Guadalentín depression (SE Spain). *J. Geodynamics*, 24: 105-115.
- Segura Beltrán, F. (1987): *Las ramblas valencianas* Dpto. de Geografía, Universidad de Valencia. Tesis Doctoral, 476 pp.

- Tapsell, S., McCarthy, S., Faulkner, H., Alexander, M. (2010): Social vulnerability to natural hazards CapHaz-Net's WP4-Report. Londres: Flood Hazard Research Centre (FHRC), Middlesex University.
- Torrecillas Nicolás, C., Pérez Morales, A. (2015): *Evidencias sobre la vulnerabilidad y sus implicaciones en la materialización de una catástrofe: El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011*. INÉDITO
- Thornes, J.B. (1980): Structural instability and ephemeral stream channel behaviour. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*, 36, 233–244.
- Thornes, J.B., López Bermúdez, F., Woodward, J.C. (2009): Hydrology, river and sediment yield. En J.C. Woodward (Ed.) *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford University Press, Oxford 229-253.
- Torres Fontes, J., Calvo García-Tornel, F. (1975): Inundaciones en Murcia (Siglo XV). *Papeles de Geografía*, 6: 29-43. Universidad de Murcia.
- Van Wesemael, B., Cammeraat, E., Mulligan, M., Burke, S. (2003): The impact of soil properties and topography on drought vulnerability of rainfed cropping systems in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(1): 1-15.
- Wainwright, J., Thornes, J.B. (2014): *Environmental Issues in the Mediterranean. Processes and perspectives from the past and present* 469 pp.
- Watts, G. (1991): The relationship between soil piping and changing farming techniques on semiarid agricultural terraces. *Proceeding of 20th General Assembly of the International Union of Geodesy and geophysics at Viene*. IAHS Publication 202: 81-89.
- Woodward, J.C. (1995): Patterns of erosion and suspended sediment yield in Mediterranean river basins” en I. D. L. Foster, A. M. Gurnell, and B. W. Webb (eds.), *Sediment and WaterQuality in River Catchments*. John Wiley & Sons, Chichester, 365–389.