

# EPISODIO DE LLUVIAS TORRENCIALES DEL 11 AL 15 DE SEPTIEMBRE DE 2019 EN EL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: ANÁLISIS METEOROLÓGICO Y CONSECUENCIAS DE LAS TRANSFORMACIONES EN LOS USOS DEL SUELO

JAVIER MARTÍ TALAVERA<sup>1</sup> 

JUAN ANTONIO AMOR JIMÉNEZ<sup>2</sup> 

RUBEN GIMÉNEZ GARCÍA<sup>3</sup> 

VICTOR RUIZ-ÁLVAREZ<sup>3</sup> 

SAMUEL BIENER CAMACHO<sup>1</sup> 

**RESUMEN** – La formación de una Depresión Aislada en Niveles Altos en el sureste peninsular supuso la génesis de un episodio de precipitaciones torrenciales. Grandes acumulados de lluvia se recogieron en un periodo de tiempo corto, lo que dio lugar a una fuerte escorrentía que elevó el caudal de ramblas y barrancos provocando avenidas en la Vega Baja alicantina y en el Campo de Cartagena. El potencial de estas inundaciones y de sus consecuencias podría haberse agravado debido a un aumento considerable de la superficie impermeable, en concreto de espacios urbanos, fruto de las notables transformaciones realizadas en estas áreas, en las últimas décadas.

**Palabras clave:** Inundación; usos del suelo; superficie artificial; lluvias torrenciales; riesgo natural.

**RESUMO** – EPISÓDIO DE CHUVAS TORRENCIAIS DE 11 A 15 DE SETEMBRO DE 2019 NO SUDESTE DA PENÍNSULA IBÉRICA: ANÁLISE METEOROLÓGICA E

---

Recibido: 02/12/2019. Aceite: 19/01/2021. Publicado: 01/08/2021.

<sup>1</sup> Instituto Interuniversitario de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n, 03690, San Vicente del Raspeig, Alicante, España. E-mail: [javier.marti@ua.es](mailto:javier.marti@ua.es); [samubcalicante@gmail.com](mailto:samubcalicante@gmail.com)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Granada, España. E-mail: [juanamor@correo.ugr.es](mailto:juanamor@correo.ugr.es)

<sup>3</sup> Departamento de Geografía, Facultad de Letras, Universidad de Murcia, Murcia, España. E-mail: [ruben.gimenez@um.es](mailto:ruben.gimenez@um.es); [victorruiz1@um.es](mailto:victorruiz1@um.es)

CONSEQUÊNCIAS DAS TRANSFORMAÇÕES NOS USOS DO SOLO. A formação de uma Depressão Isolada em Níveis Altos no sudeste peninsular supôs a gênese de um episódio de precipitações torrenciais. Grandes acumulações de chuva ocorreram num curto período de tempo, o que deu origem a uma forte escorrência que elevou o fluxo de ravinas e barrancos, provocando inundações fluviais na Vega Baja alicantina e no Campo de Cartagena. O potencial destas inundações e das suas consequências poderá ter-se agravado devido a um aumento considerável da superfície impermeável, nomeadamente de espaços urbanos, resultado das notáveis transformações realizadas nestas áreas nas últimas décadas.

**Palavras-chave:** Inundação; usos do solo; superfície artificial; chuvas torrenciais; risco natural.

**ABSTRACT** – THE EPISODE OF TORRENTIAL RAINS FROM 11 TO 15 SEPTEMBER 2019 IN THE SOUTHEAST OF THE IBERIAN PENINSULA: METEOROLOGICAL ANALYSIS AND CONSEQUENCES OF CHANGES IN LAND USES. The formation of a Cutoff low in the southeast of the peninsula was the genesis of an episode of torrential rainfall. Large accumulations of rain were collected in a short period of time, which resulted in a strong runoff that raised the flow of ravines and wadis causing floods in the Vega Baja and Campo de Cartagena. The potential of these floods and their consequences could have been aggravated by a considerable increase in the impermeable surface, in particular of urban spaces, as a result of the remarkable transformations made in these areas in recent decades.

**Keywords:** Flood; land uses; artificial surface; heavy rains; natural hazard.

**RÉSUMÉ** – ÉPISODE DE PLUIES TORRENTIELLES DU 11 AU 15 SEPTEMBRE 2019 DANS LE SUD-EST DE LA PÉNINSULE IBÉRIQUE: ANALYSE MÉTÉOROLOGIQUE ET CONSÉQUENCES DES TRANSFORMATIONS DANS LES USAGES DU SOLS. La formation d'une Dépression Isolée à des Niveaux Élevés dans le sud-est de la péninsule a été à l'origine d'un épisode de précipitations torrentielles. De grandes précipitations accumulées ont été recueillies dans un bref laps de temps, ce qui a donné lieu à un fort ruissellement, qui a augmenté le débit des ravins et a provoqué des inondations fluviales dans la Vega Baja Alicantina et dans le Campo de Cartagena. Le potentiel de ces inondations et de ses conséquences aurait pu être aggravé par l'augmentation considérable de la surface imperméable, notamment d'espaces urbains, en résultat de transformations notables dans ces zones au cours des dernières décennies.

**Mot clés:** Inondation; usage des sols; surface artificielle; pluies torrentielles; risque naturel.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1. Justificación

Tradicionalmente la mayor parte de los estudios que van encaminados a conocer los efectos y consecuencias de un episodio de inundación se centran en el factor físico, ya sea atmosférico e hídrico de esa situación, sin tener en cuenta otros aspectos, que han podido

ser también relevantes como, por ejemplo, el papel que juega el uso del suelo a la hora de incrementar el riesgo y la vulnerabilidad. Este trabajo pretende abordar un episodio de fuertes precipitaciones muy reciente, a partir de un análisis meteorológico y de un análisis de los usos del suelo, de tal manera que se pretenda comprender, a partir de estos dos elementos, las posibles causas de esas inundaciones.

A pesar de que este trabajo no pretende realizar un análisis sobre los daños y perjuicios generados en este episodio, es necesario, para poner en contexto, indagar acerca de las consecuencias económicas de este evento. Las comarcas más afectadas fueron la Vega Baja del Segura y el Campo de Cartagena. Las pérdidas económicas fueron muy cuantiosas, sobre todo en los sectores agrario y turístico. El gobierno de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia estimó en 590,7 millones de euros las pérdidas en esta región. En la provincia de Alicante los daños en el sector agrícola fueron más cuantiosos, alcanzando la cifra de 305 millones de euros (Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores [ASAJA], 2019).

El Consorcio de Compensación de Seguros ([CCS], 2019a) entidad estatal dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, recibió a fecha de 23 de octubre de 2019, un total de 63 064 solicitudes de indemnización en toda España, de las cuales 31 392 pertenecen a la Región de Murcia y 24 286 a la Comunidad Valenciana. Los municipios más afectados son Orihuela (8183 solicitudes) y Los Alcázares (7552 solicitudes). El coste total estimado de dichas solicitudes asciende a 434,6M€ aproximadamente, los cuales se corresponden casi en su totalidad con los ámbitos territoriales de la Región de Murcia (207,3M€) y la Comunidad Valenciana (171,2M€), que son las dos regiones más damnificadas por dicho temporal. Se trata del cuarto evento en volumen de indemnización por parte del CCS (2020) desde 1971, tan solo por detrás de las inundaciones de 1983 en el Cantábrico, la tempestad ciclónica atípica “Klaus” en 2009 y el terremoto de Lorca de 2011. Como vemos, en términos de pérdidas económicas, se trata del peor episodio de inundaciones ocurrido en el sureste de España, desde la creación de este organismo en el año 1954, aunque no por ello se debe extrapolar esta afirmación a otros ámbitos, como ya veremos posteriormente.

## 2. Estado de la cuestión

En los últimos años se ha producido un aumento generalizado en el estudio de los riesgos naturales como consecuencia del incremento de pérdidas materiales y de vidas humanas relacionadas con los desastres naturales. Además, se ha generado la impresión de una mayor ocurrencia de eventos naturales excepcionales. Sin embargo, lo que ha tenido lugar en realidad es un incremento de la exposición y vulnerabilidad de la población mundial frente a los peligros naturales por la intensiva ocupación del territorio (Olcina Cantos & Ayala Carcedo, 2002). Dentro de las causas de siniestralidad por riesgos extraordinarios en España, las inundaciones ocupan el primer lugar con bastante diferencia con respecto a otras causas en el coste total de las indemnizaciones, representando un 62,3% del total (CCS, 2019b) durante el periodo 1971-2018. En dicho periodo,

el litoral mediterráneo español ha sufrido un aumento significativo del número de inundaciones y sus consecuentes daños. Sin embargo, no existe una correlación clara que concluya que este incremento se deba a un aumento de episodios fuertes precipitaciones, pero si se puede deducir que el riesgo de inundación ha aumentado debido a una multiplicación de la exposición y la vulnerabilidad, (López Martínez *et al.*, 2017; Pérez Morales *et al.*, 2018).

Las avenidas torrenciales son el fenómeno natural que con más frecuencia se repite en las cuencas mediterráneas (Gaume *et al.*, 2016) donde se localiza el área de estudio de este trabajo, el sureste de España. Los factores que propician este peligro son muy diversos, por un lado, tendríamos unas cuencas hidrográficas con extensiones reducidas, pero de elevada pendiente, donde el estrato de suelo permeable es muy fino y la vegetación es escasa (Camarasa Belmonte & Segura Beltrán, 2001). A ello habría que sumar que una vez llegan a zonas con una pendiente menor, como conos o abanicos fluviales, el flujo del agua es bidimensional, inestable y, en ocasiones, supercrítico (Marco, 1995), debido a la presencia de áreas endorreicas y de escaso avenamiento (Gil Olcina, 1988). Por otro lado, están los factores atmosféricos, en los que juegan un papel importante las irrupciones de aire frío y una elevada evaporación producida por la temperatura de las aguas superficiales del mar Mediterráneo (Mateu Bellés, 1990). Ello da lugar a situaciones de inestabilidad convectiva, que se traducen en tormentas severas, caracterizadas por generar precipitaciones torrenciales (Espín Sánchez *et al.*, 2014). Estos condicionantes hacen que cauces y almarjales que suelen encontrarse secos registren inundaciones relámpago o *flash flood*, dando lugar a caudales y calados extraordinarios. El conocimiento e interpretación de las diversas dinámicas meteorológicas que interceden en la génesis de los procesos de inundación, así como el análisis de datos pluviométricos emanados de los diversos eventos de lluvia torrencial acaecidos, recientemente, en el sureste peninsular, han ocupado líneas de debate de elevada relevancia en innumerables conferencias, seminarios y congresos de rango nacional e internacional (Olcina Cantos & Díez Herrero, 2017).

A lo largo de la historia, los episodios de riadas en el sureste de España se han repetido constantemente, si bien, no siempre con la misma virulencia, pero asociadas, en la mayoría de los casos, a episodios de fuertes precipitaciones. Hay que tener en cuenta, al contrario de lo que se suele pensar, que el término gota fría es relativamente reciente, al menos en España, puesto que no sería hasta 1976 cuando comenzaría a ser utilizado, al menos por los medios de comunicación (Martín León, 2003). Sin embargo, ya era conocido en ámbitos académicos y profesionales, y prueba de ello es el trabajo de Capel Molina (1974), el cual realiza un análisis sinóptico muy detallado de la gota fría ocurrida en octubre de 1973. En la actualidad, se ha asociado erróneamente los conceptos de fuertes precipitaciones con gota fría (o Depresión Aislada en Niveles Altos), y ésta con inundaciones (Martín Vide, 1989). Ahora bien, a pesar de considerar estos ingredientes como desencadenantes, esenciales y evidentes, de los diversos procesos de inundación acontecidos en el marco espacial que nos ocupa, no se debe relegar la responsabilidad que corresponde al factor humano en la perpetración de estas catástrofes (Box Amorós & Morales Gil, 1993). Por ejemplo, la riada más conocida por sus consecuencias sería la Riada de

Santa Teresa de 1879, estudiada por muchos, aunque cabe destacar, sobre todo, el trabajo de Calvo García-Tornel *et al.* (2001), que establece una premisa interesante, ya que se alude a la ocupación humana como el factor que contribuyó al carácter tan catastrófico de la riada y no las fuertes precipitaciones.

En este sentido tiene un papel fundamental la gestión de los usos del suelo, ya que es incuestionable atribuir parte de estas tragedias, riesgos, peligros y vulnerabilidad territorial actual, al incumplimiento de la normativa que se ha ido desarrollando desde la Directiva Marco de Inundaciones de 2007 (Olcina Cantos *et al.*, 2018). Y no solamente a partir de esta ya que, históricamente, para satisfacer las necesidades residenciales propias de la elevada densidad demográfica inherente al auge turístico de esta área, el desarrollo urbanístico ha ocupado tanto llanos de inundación, lechos fluviales, conos de deyección, desembocaduras de barrancos, como coberturas y superficies de suelo destinados históricamente a usos eminentemente agrícolas y forestales (Giménez *et al.*, 2018; Vera & Baños, 2016). Esta dinámica urbanizadora, junto con la construcción de invernaderos y algunas técnicas de regadío intensivo, ha contribuido a aumentar el sellado del suelo. Este concepto, del que García Alvarado *et al.* (2014) realizan una revisión profunda consiste en la transformación del suelo natural por una superficie artificial impermeable. Dicha transformación acarrea una disminución de la capacidad de infiltración del agua, lo que deriva en unas mayores tasas de escorrentía al no poder percolar el agua y en un aumento de la superficie con riesgo de inundación. Este proceso ha sido sobre todo estudiado en el área del Campo de Cartagena y Mar Menor por Pérez Morales *et al.* (2016) y Romero Díaz *et al.* (2011, 2017).

Más allá del incremento de la superficie urbana, también se ha apreciado un cambio bastante significativo de los usos del suelo, en general, en las últimas décadas en la Demarcación Hidrográfica del Segura (Alonso Sarriá *et al.*, 2010). Este aspecto ha sido muy estudiado en el litoral mediterráneo español, por ejemplo, en el litoral sur de la Región de Murcia se ha evidenciado como entre 1956 y 2013, un 65% del territorio había sufrido cambios (Ibarra Marinas *et al.*, 2017).

### 3. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es analizar el evento de lluvias torrenciales ocurrido entre el 11 y el 15 de septiembre de 2019, sus causas y las consecuencias que este tuvo en el territorio. Para ello, se indagará en dos aspectos, por un lado, la situación atmosférica, que sería la que originaría el peligro natural que actuaría como detonante a la hora de generar otra amenaza, en este caso, un episodio de inundación. De otro lado, también se pretende conocer, a partir de la información espacial suministrada por el proyecto *Corine Land Cover* (CLC), si los cambios en los usos del suelo han podido ser el motivo que ha intensificado la severidad de dicha amenaza, contribuyendo a aumentar la exposición y vulnerabilidad de la población. En este último aspecto se quiere hacer hincapié en las dos zonas que se vieron más afectadas por el episodio, la Vega Baja (Alicante) y el Campo de Cartagena (Murcia).

## II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de este trabajo se encuentra localizada en el sureste de la Península Ibérica, concretamente en los ámbitos territoriales de la Demarcación Hidrográfica del Segura y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Esta área alcanza una extensión de casi 19 650km<sup>2</sup>, y engloba superficies de las provincias de Murcia, Albacete, Almería, Alicante, Jaén y Granada (fig. 1). Alberga un total de 2 633 315 habitantes a 1 de enero de 2018 (Instituto Nacional de Estadística, 2019), siendo la distribución espacial de la población muy irregular, localizándose la mayor parte en las áreas litorales y valles prelitorales (áreas metropolitanas de Murcia y Alicante-Elche, Vega Baja del Segura y Campo de Cartagena-Mar Menor).

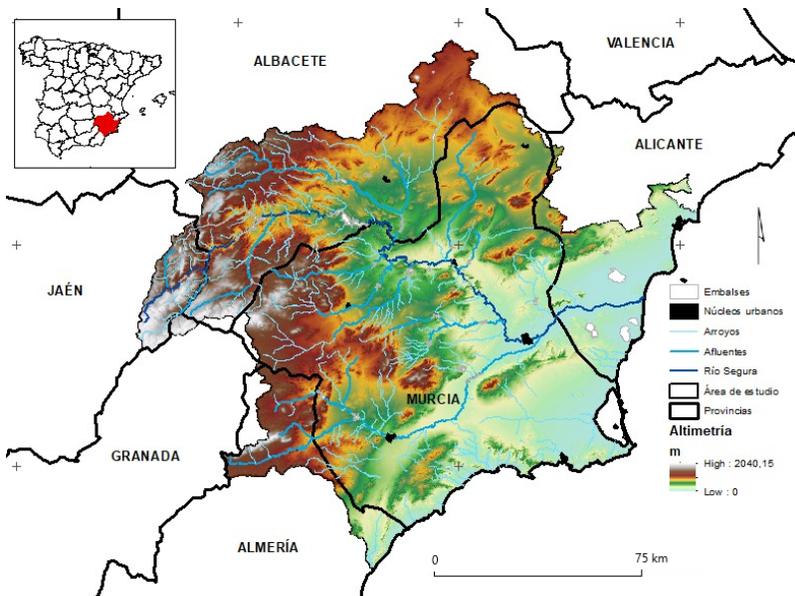


Fig. 1 – Área de estudio con la red hidrográfica. Figura en color disponible en línea.

*Fig. 1 – Study area with the hydrographic network. Colour figure available online.*

Desde el punto de vista topográfico, presenta una gran variedad orográfica con sierras más o menos aisladas que adquieren mayor altitud hacia el noroeste, y se alternan con valles, depresiones y llanuras (Romero Díaz, 2007), cumpliendo con un gradiente altitudinal NW-SE hasta llegar a las amplias llanuras que se asientan sobre el litoral. Los relieves más elevados se sitúan en la parte noroccidental, superando los 2000m de altitud, como es el caso de la Sierra de Segura, Sierra de las Cabras y Revolcadores, entre otros. En el sector central de la Demarcación Hidrográfica del Segura existen pequeñas elevaciones, cuyas cimas llegan a superar los 1200m sobre el nivel del mar, como son los relieves de Sierra España, Pedro Ponce, Lavia y Burete.

Dicha zona se encuentra bajo el dominio de uno de los sistemas morfoestructurales más complejos de la Península Ibérica: las Cordilleras Béticas, las cuales conforman una cadena de plegamiento alpino que se extiende desde las costas de Cádiz hasta el sur de la región valenciana (Conesa García, 2006). Este sistema queda representado por materiales pertenecientes al prebético y subbético (zonas externas) y bético (zona interna; Arana Castillo *et al.*, 1994).

La topografía de un sector, concretamente la altitud sobre el nivel del mar, es uno de los factores geográficos más importantes para la distribución sistemas montañosos cumplen con una importante labor en el reparto y distribución de las precipitaciones durante los episodios de lluvias por advecciones mediterráneas (Capel Molina, 1983).

Durante gran parte del año se halla sometida a la acción del abrigo aerológico que en ella ejerce el anticiclón de las Azores, responsable de largos e intensos periodos secos (Gil Olcina, 2007). Las precipitaciones más importantes provienen de situaciones de advecciones mediterráneas, relacionados a DANAs (Depresiones Aisladas en Niveles Altos), siendo muy notorio el flujo marítimo y la exposición para la intensidad de las precipitaciones, y que en ocasiones logran ser de carácter torrencial. Siendo estos factores, uno de los componentes de la circulación atmosférica, principalmente, del otoño en la España mediterránea, muy significativo en el Levante peninsular.

Históricamente, se han sucedido grandes eventos de lluvias en el SE peninsular, causando importantes inundaciones a su paso, aunque en épocas más recientes y con datos más completos tenemos como ejemplo numerosos episodios de lluvias como el acontecido el 23 de octubre de 2000, dejando precipitaciones de 170mm en 6h en la Sierra de Almenara y con un caudal pico de 600m<sup>3</sup>/s en la Rambla de Benipila (Conesa García & García-García, 2003). Mayor impacto tuvieron las intensas lluvias del 28 de septiembre de 2012, con registros en la Rambla de Nogalte superiores a los 170mm en menos de dos horas, ocasionando una importante avenida de la rambla. Una clara evidencia de ello se encuentra en el embalse de Puentes, el cual registró un caudal de entrada de 1800m<sup>3</sup>/s, desaguando 616m<sup>3</sup>/s a su paso por la ciudad de Lorca (Gil Meseguer *et al.*, 2012). Mas recientemente, queda el recuerdo de la DANA de diciembre de 2016, que dejó lluvias persistentes de más de 300mm en zonas próximas al Mar Menor, originando grandes daños debido a los efectos de las aguas de numerosas ramblas (Espín Sánchez *et al.*, 2017).

### III. METODOLOGÍA

Dentro del contexto costero mediterráneo, sobresalen dos áreas espaciales donde la virulencia en el avance del sector constructivo y los episodios de fuerte precipitación han acontecido de forma dramática. En la actualidad, las comarcas de la Vega Baja (Alicante) y Campo de Cartagena (Murcia), constituyen dos de las superficies territoriales más castigadas por el proceso antropizador y las precipitaciones de alta intensidad horaria en el panorama nacional. Cabe destacar que en este estudio se ha considerado como Campo de Cartagena el territorio integrado por los términos municipales de Cartagena, San Javier, San Pedro del Pinatar, Los Alcázares y Torre-Pacheco.

Durante las últimas décadas, estas dos circunscripciones han experimentado un acusado cambio de uso de suelo, transformación que bajo el prisma de la ciencia geográfica consideramos necesario abordar. Mediante la utilización de la información espacial proporcionada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en su proyecto *Corine Land Cover* (Coordination of Information on the Environment), donde se plasma la superficie territorial ocupada por cada uso o cobertura de suelo, se puede contrastar la dimensión adquirida por dichas transformaciones entre dos fechas concretas.

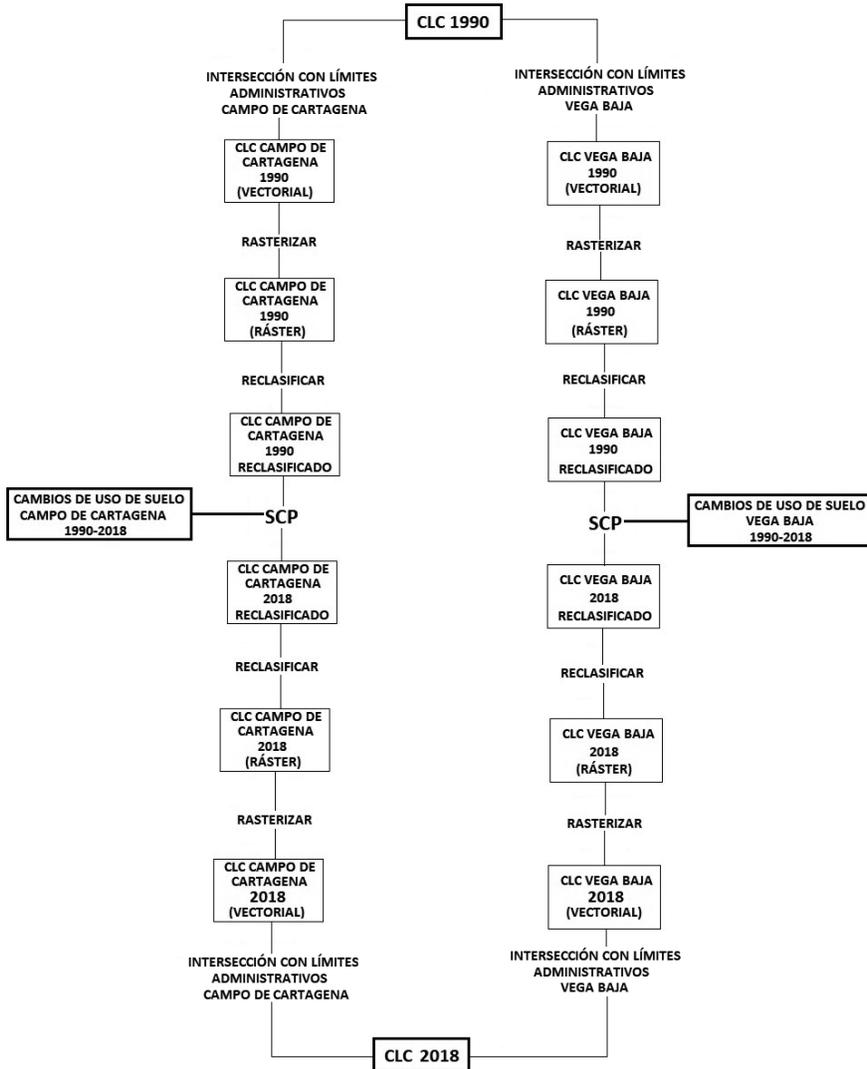


Fig. 2 – Diagrama de flujos de usos del suelo.

Fig. 2 – Diagram of land use flows.

La metodología llevada a cabo en el análisis de estos datos tiene como punto de partida el tratamiento de información remota sobre coberturas y usos de suelo procedentes del mencionado proyecto CLC en formato vectorial de los años 1990 y 2018. A partir de esta base territorial se han entrelazado diferentes geoprocursos informáticos, especificados a continuación (fig. 2), que han desembocado en la generación de mapas e información sobre los cambios territoriales experimentado por estos usos y coberturas entre ambos periodos.

El presente diagrama de flujos muestra cómo se han delimitado las dos comarcas administrativas tomadas como marco espacial de referencia en el estudio. Una vez obtenida la superficie territorial que centra nuestra atención, se ha procedido a rasterizar los archivos vectoriales con la finalidad de poder contrastar, con mayor precisión, los diferentes polígonos vectoriales mediante la creación de un mosaico de píxeles de 10m X 10m (100m<sup>2</sup>). Seguidamente, se ha reclasificado el valor de estas celdas, agrupándolas en cinco categorías diferentes según su naturaleza:

1. Urbano;
2. Agrícola;
3. Forestal;
4. Zonas húmeda;
5. Superficies de agua.

Finalmente, mediante el uso de la herramienta *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) del *software Qgis*, se ha contrastado la información mostrada en las siguientes representaciones cartográficas y matriz de cambios propuesta por Pontius et al. (2004; tabla I).

Tabla I – Matriz de tabulación cruzada.

*Table I – Cross tab matrix.*

	Tiempo 2			Total Tiempo 1	Pérdidas	
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3			
Tiempo 1	Categoría 1	P11	P12	P13	P1+	P1+ (- P11)
	Categoría 2	P21	P22	P23	P2+	P1+ (- P22)
	Categoría 3	P31	P32	P33	P3+	P3+ (- P33)
Total Tiempo 2	P +1	P +2	P+3			
Ganancias	P +1 - P11	P+2 - P22	P+3 - P33			

La matriz representa las coberturas de suelo el primer periodo (Tiempo 1) en filas y las del segundo periodo (Tiempo 2) en columnas.  $P_{ij}$  representa la proporción de un uso del suelo que transiciona de la categoría  $i$  a la categoría  $j$ .  $P_{jj}$ , en la diagonal, indica la proporción de persistencia de la categoría  $j$ , mientras que el resto de celdas indican una

transición de la categoría  $i$  a una categoría diferente  $j$ . Las pérdidas están expresadas como la diferencia de la categoría  $i$  entre el Tiempo 1 y el Tiempo 2. Las ganancias están expresadas como la diferencia de la categoría  $j$  entre el Tiempo 1 y el Tiempo 2. El cambio neto es la diferencia, en valor absoluto, entre las pérdidas y las ganancias de cada categoría. El cambio total es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas. El intercambio corresponde al doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas o, lo que es lo mismo, la diferencia entre el cambio total y el cambio neto.

A la hora de perpetrar las matrices de tabulación cruzada se han observado ciertas transiciones raras entre categorías (paso de áreas urbanas a agrícolas o forestal). Se debe tener en cuenta que la precisión temática de los datos espaciales de CLC es de entorno al 85%, generando un posible error que puede alcanzar en el peor de los casos el 15%. La significación de estos errores en un estudio como el que nos ocupa es, ciertamente, insignificante por lo que no se ha procedido a su corrección, dejando esta línea de actuación pendiente para ejecutarla en estudios y desarrollos científicos efectuados por los mismos autores en el futuro.

Por otro lado, se han utilizado los registros pluviométricos pertenecientes a los días 11-15 de septiembre de 2019, contando para este episodio de precipitación con un total de 288 observatorios distribuidos por el territorio de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS) y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT). Estos datos han sido obtenidos a partir de diferentes organismos públicos: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Sistema Automático de Información Hidrográfica del Segura (SAIH SEGURA), Sistema de Información Agrometeorológica del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (SIAM IMIDA), Asociación de aficionados a la Meteorología del Sureste (AMETSE), Dirección General de Tráfico (DGT), Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (Junta de Andalucía), Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET), así como observatorios pertenecientes a redes de meteorológica como *Meteoclimatic* y *Wunderground*, además de contar también con estaciones de aficionados. Para la elaboración de los diferentes mapas de acumulado de precipitación se ha llevado a cabo el método de interpolación de krigeado ordinario de semivariograma esférico.

#### IV. ANÁLISIS SINÓPTICO DE LA SITUACIÓN METEOROLÓGICA

Entre los días 11 y 15 de septiembre de 2019 se produjo una situación histórica desde el punto de vista meteorológico y climatológico en el sureste peninsular. La formación de una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) sobre el Mediterráneo Occidental (fig. 3) generó precipitaciones intensas que dieron lugar a acumulados puntuales de más de 500mm en la provincia de Alicante durante todo el episodio. Concretamente estas cifras se registraron en la estación de la red SAIH de Orihuela (521,6mm) y en el observatorio de Orihuela-Raiguero de Bonanza de la red *Meteoclimatic*.

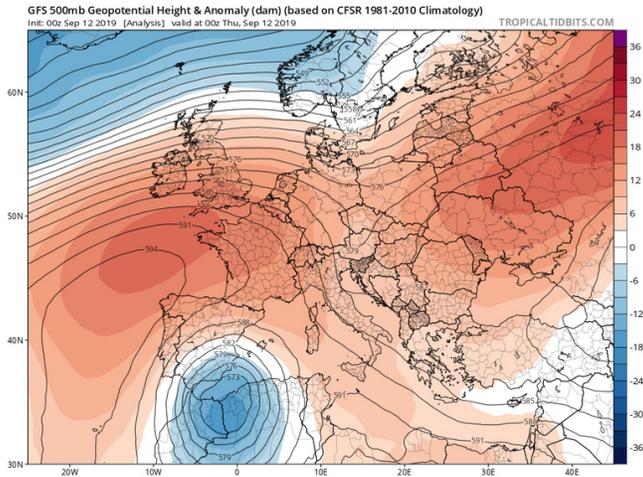


Fig. 3 – Mapa de geopotencial y anomalías en 500hPa para 12 de septiembre de 2019 según el modelo numérico GFS. Figura en color disponible en línea.

*Fig. 3 – Geopotential map and anomalies at 500hPa for September 12, 2019 according to the GFS numerical model. Colour figure available online.*

Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/>

El origen de esta gota fría o DANA tuvo una génesis singular, ya que en los días anteriores el huracán Dorian se reintegró en el *jet stream*. Este proceso generó una mayor ondulación de esta corriente, dando lugar a la generación de vaguadas y dorsales, propiciando una mayor interacción entre masas de aire cálidas y frías. Durante el día 9 de septiembre, el fondo de saco de la vaguada, apuntaba hacia Irlanda, mientras que el día 10 ya se encontraba en la vertical del Golfo de Vizcaya, comenzando a desgajarse de la circulación del oeste. El 11 de septiembre la gota fría, ya casi aislada, se situaba frente a las costas del sureste de España, dejando a su paso algunas lluvias intensas en el noreste peninsular y en Baleares. A partir de este momento, a nivel sinóptico y mesoescalar, se dieron una serie de circunstancias que ayudan a explicar la magnitud de los registros pluviométricos en algunos sectores del sureste peninsular en las siguientes horas. Entre los días 11 y 12 se instala un enorme puente anticiclónico dispuesto de forma zonal (oeste-este) con máximos de más de 1030hPa frente al noroeste peninsular, la Bretaña francesa y suroeste de Rusia, mientras que el núcleo de la DANA se situaba entre el norte de Marruecos y Argelia. Con esta situación, nos encontramos ante uno de los ingredientes fundamentales para la génesis de lluvias intensas: un flujo intenso, y muy marcado, de viento en capas bajas de aire muy húmedo con alto contenido de agua precipitable, que es transportado desde el Mediterráneo central hacia las costas españolas, recientemente se ha denominado río atmosférico mediterráneo (Lorente-Plazas *et al.*, 2020). No hay que olvidar que el temporal marítimo fue duro en las costas mediterráneas, con rachas de viento superiores a los 100km/h y olas de más de 4 o 5m en aguas valencianas. En estas horas, aparece otro actor a nivel sinóptico, una cresta anticiclónica ascendiendo sobre el

Mediterráneo central, reforzando el cinturón de altas presiones en Centroeuropa. Este es otro de los puntos clave para entender la magnitud del episodio, ya que a primeras horas del día 12, la gota fría está totalmente aislada del chorro y sin escapatoria posible al estar rodeada por todos sus puntos de altas presiones, evitando su reabsorción por parte de la circulación del oeste, algo que suele ocurrir al final del ciclo de vida de una DANA, como indica Martín León (2013). A su vez esta disposición favorece un desplazamiento mucho más lento de la gota fría, volviéndose potencialmente más dañina. Este detalle también se observa en algunos de los grandes episodios de lluvias torrenciales de la segunda mitad del siglo XX, siendo la similitud mayor con el evento de la Pantanada de Tous (octubre de 1982), descrito por Pérez Cueva y Armengot Serrano (1983), la conocida popularmente como gota fría de Alcoy (finales de septiembre de 1986), detallada por Olcina Cantos (1992), y la riada del 30 de septiembre de 1997 en la ciudad de Alicante, reseñada, junto a las anteriores por Olcina Cantos y Rico Amorós (2000).

Según las mediciones de los radiosondeos realizadas por AEMET, la gota fría presentaba en altura una temperatura inferior a los  $-20^{\circ}\text{C}$ , con una anomalía del geopotencial muy marcada a unos 5730m sobre el nivel del mar, una situación excepcional, ya que desde que se realizan radiosondeos en España (1984), no se tenía constancia de una depresión en altura tan marcada en la primera quincena de septiembre (Nuñez Mora, 2019). Por otra parte, este descuelgue de aire frío se produjo precisamente en la época en la que el Mediterráneo y la superficie peninsular están caldeados tras la intensa insolación del verano.

Otros de los factores a tener en cuenta es que la DANA se desplazó muy lentamente por el norte de África y el mar de Alborán, por lo que el sureste peninsular quedó en el área de difluencia en altura del embolsamiento de aire frío, es decir, en el sector más inestable de la gota fría, en su flanco nororiental, donde se producen ascensos muy importantes de aire. Hay que insistir que las tormentas más inestables se producen en este sector, y no el que está situado justo debajo del núcleo de la depresión en altura, donde las tormentas pueden ser intensas, pero con menor organización por la ausencia de un flujo marítimo que aporte humedad en capas medias y bajas. Debido a todo esto, la inestabilidad se disparó.

Ahora bien, es un error asociar las lluvias torrenciales de forma directa a la gota fría o DANA, ya que para encontrar los últimos responsables de precipitaciones de alta intensidad de consecuencias catastrófica debemos descender a la mesoescala. La depresión en altura prepara el terreno a nivel sinóptico para que puedan generarse estructuras convectivas que cuentan con una gran organización, como son los sistemas o complejos convectivos de mesoescala o los trenes convectivos, descritos por Capel Molina (2000). Los mayores acumulados del episodio de septiembre de 2019, que se dieron en el norte de Alicante-sur de Valencia, Orihuela y alrededores y en el entorno del Mar Menor, precisamente coinciden con las áreas más afectadas por los trenes convectivos que entraron a tierra desde el Mediterráneo.

Para que estos trenes se formen, es necesaria la presencia de un chorro húmedo y cálido en capas bajas, denominado como “low level jet”, que alimente a estas estructuras durante horas. A la vez, el flujo en niveles medios-altos debe ser paralelo a estas estructuras convectivas, condiciones que se dieron durante los días 12 y 13 de septiembre, cuando la circula-

ción a niveles bajos y medios era de este a oeste por la situación del núcleo de la DANA. Así, el primer tren convectivo afectó de lleno al norte de Alicante y sur de Valencia durante la madrugada y la mañana del 12 de septiembre. Sin embargo, la situación más adversa durante ese día se produjo en torno al mediodía en la Vega Baja, cuando otro tren convectivo atravesó la comarca, afectando especialmente al sur y este del núcleo urbano de la ciudad de Orihuela. Esta perturbación se fue trasladando hacia el oeste, afectando también a la cabecera del río Chícamo y la Vega Media del Segura. Con el desplazamiento de la gota fría hacia el suroeste a partir de la tarde-noche, la situación más inestable se trasladó a la Región de Murcia y al noreste de Almería. Durante la mañana del 13 de septiembre, la depresión en altura tomaba rumbo al Estrecho de Gibraltar, desplazándose ligeramente hacia el norte, por lo que la Vega Baja alicantina quedaba de nuevo en la trayectoria de nuevos trenes convectivos que volvieron a entrar de mar a tierra.

El área más afectada durante el episodio fue la Vega Baja alicantina, como se recoge en la figura 4, y más concretamente el término municipal de Orihuela, donde se recogieron 521,6mm, acumulándose 346,2mm, solo el jueves 12, lo que supone un récord de precipitación máxima diaria, superando los registros de 330mm de San Javier (4 de noviembre de 1987) y 270,2mm de Alicante (30 de septiembre de 1997; Benhamrouche & Martín-Vide, 2011; Garrido Abenza *et al.*, 2014; tabla II y fig. 5). Otro punto esencial que explica, en parte, las inundaciones que se produjeron en esta zona fue la cabecera del río Chícamo, en los municipios de Fortuna y Abanilla donde se registraron acumulados superiores a los 300mm.

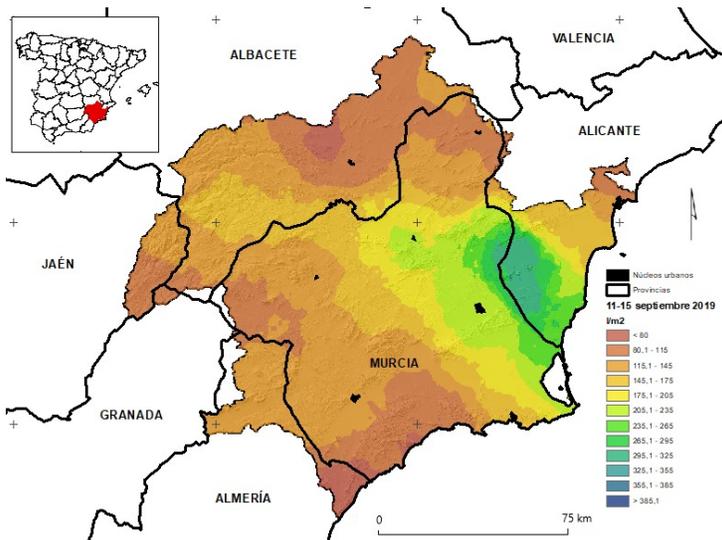


Fig. 4 – Precipitaciones registradas entre el 11 y 15 de septiembre de 2019 en el área de estudio. Figura en color disponible en línea.

Fig. 4 – Precipitation recorded between September 11 and 15, 2019 in the study area. Colour figure available online.

Tabla II – Acumulados registrados durante el episodio.

Table II – Accumulated precipitation during the episode.

Estación	Organismo	Precipitación acumulada (mm)
Orihuela	SAIH	521,6
San Javier (La Manga)	AEMET	334,8
La Jaira (Abanilla)	SIAM	324,9
Molina de Segura	AEMET	294,6
Santomera	SAIH	286,4

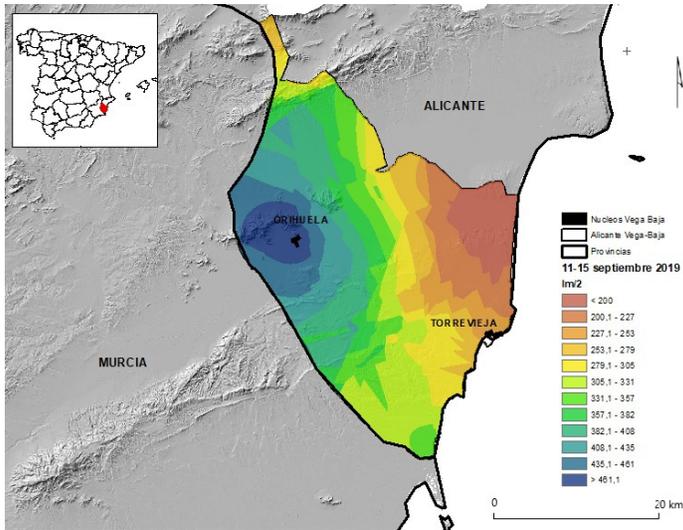


Fig. 5 – Precipitaciones registradas entre el 11 y 15 de septiembre de 2019 en la Vega Baja (provincia de Alicante). Figura en color disponible en línea.

Fig. 5 – Precipitation recorded between September 11 and 15, 2019 in Vega Baja (Alicante province). Colour figure available online.

Originalmente su desembocadura en el río Segura estaba conformada por una llanura de inundación, situada en el entorno de la pedanía oriolana de Montepinar, área que actualmente está ocupada antrópicamente. Sin embargo, con la construcción del Embalse de Santomera, y ante la imposibilidad de realizar una presa en el río Chícamo, se construyó un azud para derivar gran parte de ese caudal al pantano. Durante este episodio, las intensas precipitaciones provocaron un *flash flood* sobre este cauce, cuyos valores de caudal son desconocidos ya que no existen una estación de aforo sobre este río. Esto provocó una fuerte escorrentía sobre su curso original, a pesar de que parte de su caudal ya estaba siendo aliviado hacia el Embalse de Santomera, lo que se tradujo en importantes inundaciones en su desembocadura. Además, dicho embalse, fruto de la escorrentía desaguada tanto por el río Chícamo, como por otras ramblas que vierten en él, llegó al tope de su capacidad, siendo necesario su desembalse el 13 de septiembre.

Prácticamente en toda la vega media del Segura se registraron unos acumulados superiores a los 200mm durante todo el episodio, generando una crecida de este río e inundaciones en Molina de Segura y Alguazas, principalmente. Las zonas con menor afectación fueron el litoral, desde Mazarrón hasta Pulpí, el noroeste de Murcia y áreas de la Mancha albaceteña.

Las mayores precipitaciones observadas en el Mar Menor y Campo de Cartagena se registraron, principalmente en su sector nororiental con valores por encima de los 300mm en la estación de AEMET de San Javier (La Manga). Sin embargo, el área más afectada por las inundaciones sería la localidad de Los Alcázares, donde se recogieron precipitaciones cercanas a los 250mm (fig. 6).

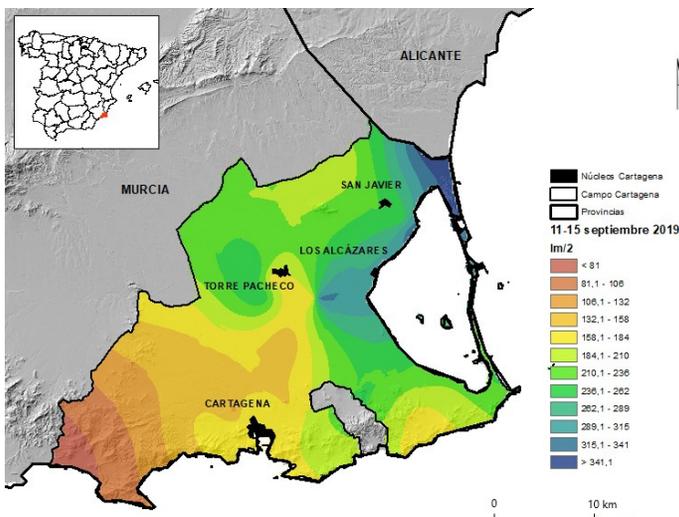


Fig. 6 – Precipitaciones registradas entre el 11 y 15 de septiembre de 2019 en el Campo de Cartagena-Mar Menor (provincia de Murcia). Figura en color disponible en línea.

*Fig. 6 – Precipitation recorded between September 11 and 15, 2019 in Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia province). Colour figure available online.*

A pesar de los registros acumulados y de sus consecuencias, no es cierto que se haya tratado de la gota fría más intensa de los últimos 140 años en España, como se ha afirmado después del episodio en numerosos medios de comunicación nacionales y regionales. En término de daños destaca principalmente el episodio de fuertes precipitaciones registradas en Granada, Almería y Murcia de 1973, que daría lugar a la peor riada, de época moderna, acaecida en el sureste peninsular. Tan solo en el municipio murciano de Puerto Lumbreras, se contabilizaría la muerte de 89 personas, tras desbordarse la Rambla de Nogalte a su paso por la localidad, después de alcanzar la inundación hasta los 15m de altura. Otro episodio destacable es la Pantanada de Tous, ocurrida en 1982. Las intensas precipitaciones producidas en la cuenca del Júcar provocarían el colapso del Embalse de Tous, anegando gran parte de las comarcas ribereñas de su curso bajo.

Si sólo se tiene en cuenta la precipitación caída los ejemplos son varios. En octubre de 1957, se registraría el récord de precipitación *máxima* diaria de España y de Europa, con los 871mm acumulados en Jávea, es un mes especialmente lluvioso donde se desbordaría el río Turia a su paso por Valencia (Olcina Cantos, 1999). Anteriormente también se ha comentado el episodio registrado a finales de septiembre y principios de octubre de 1986, donde se registraron 642mm en Alcoy (Olcina Cantos, 1992). Más recientemente, son reseñables los episodios diciembre de 2016, donde se registraron más de 600mm en la estación L'Orxa (Alicante), o enero de 2017, donde se acumularon más de 550mm en Castell de Castells (Alicante). Ambos datos recogidos en la red MeteoXarxa de AVAMET. Además, encontramos muchos otros episodios en la vertiente mediterránea y en otras regiones españolas con acumulados de 200 o 300mm en muy pocas horas. Santos Deltell (1991), por ejemplo, recoge los episodios donde se han acumulado más de 200mm en 24 horas en la provincia de Alicante, entre 1953 y 1989. Otro trabajo donde también se recogen los principales episodios de precipitación e inundaciones entre 1982 y 1999 sería el de Olcina Cantos y Rico Amorós (2000), ya mencionado anteriormente. Sin embargo, es necesario comentar, que este episodio es el de mayor precipitación acumulada en la Vega Baja, al menos, en los últimos 100 años, con un 39% más de precipitación en el promedio de la comarca que el siguiente en volumen, que fue el de noviembre de 1987 (Nuñez Mora, 2019).

## V. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO

Los datos obtenidos de esta pesquisa indican que durante el periodo comprendido entre las dos fechas estudiadas (1990/2018, figs. 7 y 8), la superficie territorial de las comarcas analizadas ha sufrido diversas transformaciones en la cobertura y uso del suelo.

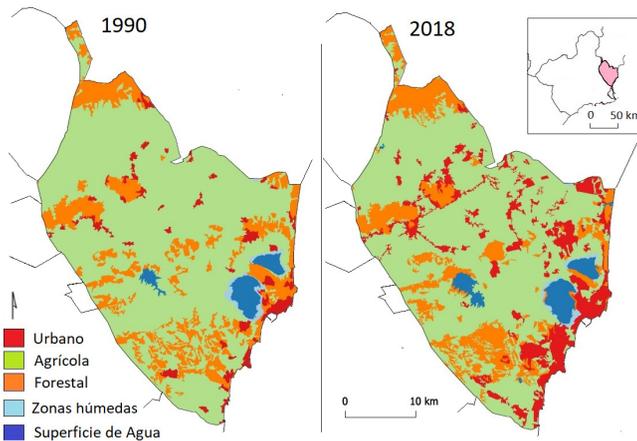


Fig. 7 – Mapa de evolución de usos y coberturas de suelo en la Vega Baja (1990-2018).

Figura en color disponible en línea.

*Fig. 7 – Evolution map of uses and land cover in the Vega Baja (1990-2018).*

*Colour figure available online.*

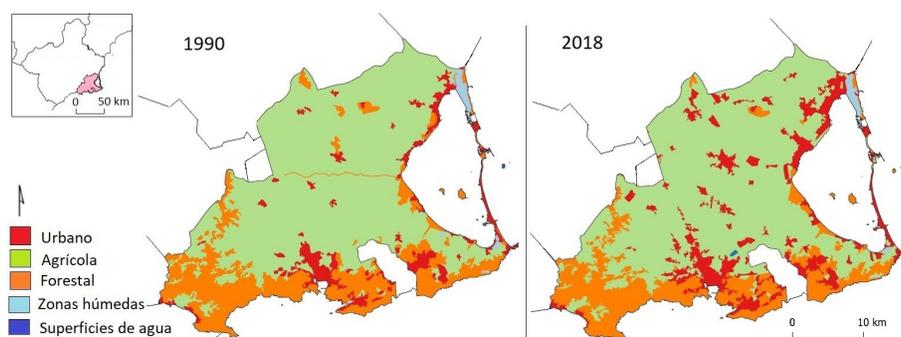


Fig. 8 – Mapa de evolución de usos y coberturas de suelo en el Campo de Cartagena Vega Baja (1990-2018). Figura en color disponible en línea.

*Fig. 8 – Evolution map of uses and land cover in the Campo de Cartagena (1990-2018). Colour figure available online.*

Las figuras 7 y 8 apoyadas en las tablas III y IV muestran la evolución espacial experimentada en éstas durante las últimas tres décadas. Así, puede apreciarse la multitud de cambios superficiales surgidos y la propagación de superficie artificial engendrada.

Mientras que los espacios agrícolas, forestales y zonas húmedas se han ido reduciendo en ambas delimitaciones, el continuo desarrollo de la superficie urbana ha sido patente. El proceso antropizador ha provocado que la superficie artificial pase de suponer el 4,09% al 13,07% en la Vega Baja, incrementándose 9 082,25ha (9,49%). El aumento ha sido un tanto más contenido en el Campo de Cartagena, pasando de 6 159,35ha (7,12%) a 11 222,44ha (12,98%).

Tabla III – Matriz de cambios coberturas y usos del suelo de la Vega Baja (1990-2018)\*.

*Table III – Matrix of changes in land cover and land use of Vega Baja (1990-2018).*

		2018					Total	Pérdidas
		1	2	3	4	5		
1990	1	3435,48 (3,59%)	284,75 (0,30%)	182,8 (0,19%)	14,48 (0,02%)	2,79 (0,00%)	3920,3 (4,09%)	484,82 (0,51%)
	2	6401,47 (6,69%)	<b>57860,9</b> (60,44%)	4805,15 (5,02%)	123,63 (0,13%)	524,06 (0,55%)	<b>69715,21</b> (72,82%)	11854,31 (12,38%)
	3	2625,91 (2,74%)	3842,58 (4,01%)	<b>11799,07</b> (12,32%)	52,65 (0,05%)	43,32 (0,05%)	<b>18363,53</b> (19,18%)	6564,46 (6,86%)
	4	29,13 (0,03%)	82,38 (0,09%)	127,99 (0,13%)	<b>558,03</b> (0,58%)	167,34 (0,17%)	<b>964,87</b> (1,01%)	406,84 (0,42%)
	5	25,74 (0,03%)	5,99 (0,01%)	26,72 (0,03%)	6,42 (0,01%)	<b>2710,79</b> (2,83%)	<b>2775,66</b> (2,90%)	64,87 (0,07%)
<b>Total</b>		<b>12517,73</b> (13,07%)	<b>62076,6</b> (64,84%)	<b>16941,73</b> (17,70%)	<b>755,21</b> (0,79%)	<b>3448,30</b> (3,60%)	<b>95739,57</b> (100%)	<b>19375,30</b> (20,24%)
<b>Ganancias</b>		9082,25 (9,49%)	4215,70 (4,40%)	5142,66 (4,40%)	197,18 (0,21%)	737,51 (0,77%)	19375,30 (20,24%)	

\*1. Urbano, 2. Agrícola, 3. Forestal, 4. Zonas Húmedas, 5. Superficies de agua.

Tabla IV – Matriz de cambios coberturas y usos del suelo del Campo de Cartagena (1990-2018)\*.

Table IV – Matrix of changes in land cover and land use of Campo de Cartagena (1990-2018).

		2018						
		1	2	3	4	5	Total	Pérdidas
1990	1	5 444,92 (6,30%)	329,3 (0,38%)	366,61 (0,42%)	5,52 (0,01%)	13,00 (0,02%)	6 159,35 (7,12%)	7 14,43 (0,83%)
	2	4 470,81 (5,17%)	54 263,02 (62,75%)	1 027,54 (1,19%)	0,36 (0,00%)	50,22 (0,06%)	59 811,95 (69,16%)	5 548,93 (6,42%)
	3	1 092,72 (1,26%)	2 209,05 (2,55%)	15 986,99 (18,49%)	10,05 (0,01%)	21,66 (0,03%)	19 320,47 (22,34%)	3 333,48 (3,85%)
	4	123,78 (0,14%)	103,14 (0,12%)	17,9 (0,02%)	613,23 (0,71%)	3,02 (0,00%)	861,07 (1,00%)	247,84 (0,29%)
	5	90,21 (0,10%)	27,29 (0,03%)	84,01 (0,10%)	2,9 (0,00%)	123,22 (0,14%)	327,63 (0,38%)	204,41 (0,24%)
	<b>Total</b>	<b>11 222,44</b> <b>(12,98%)</b>	<b>56 931,81</b> <b>(65,83%)</b>	<b>17 483,05</b> <b>(20,22%)</b>	<b>632,06</b> <b>(0,73%)</b>	<b>211,12</b> <b>(0,24%)</b>	<b>86 480,47</b> <b>(100,00%)</b>	<b>1 0049,09</b> <b>(11,62%)</b>
<b>Ganancias</b>	5 777,52 (6,68%)	2 668,78 (3,09%)	1 496,06 (1,73%)	18,82 (0,02%)	87,9 (0,10%)	10 049,09 (11,62%)		

\*1. Urbano, 2. Agrícola, 3. Forestal, 4. Zonas Húmedas, 5. Superficies de agua.

Dos terceras partes del territorio observado permanece ocupado por zonas agrícolas, superficies sobre las que ha pesado la mayor parte de mutaciones, perdiendo 11 854,31ha (12,38%) en la Vega Baja y 5 548,93ha (6,42%) en el Campo de Cartagena. El grueso del descenso de superficie agrícola, en ambas comarcas, ha recaído en su recalificación urbanística, artificializándose un total de 6 401,47ha (6,69%) en la Vega baja y 4 470,81ha (5,17%) en el Campo de Cartagena. El auge de la superficie urbana en ambas comarcas se explica muy bien por el espectacular incremento de la población desde la década de 1990. Este fenómeno es especialmente significativo en la comarca alicantina de la Vega Baja del Segura, que ha duplicado el número de habitantes en las últimas tres décadas pasando de 180 000 en 1991 a 350 000 habitantes de 2018, llegando a los 400 000 en el año 2011. La principal causa de este excepcional auge poblacional ha sido el desarrollo del turismo residencial, con la llegada de miles de residentes extranjeros, siendo los ciudadanos británicos el grupo más destacado (O'Reilly, 2009). En el Campo de Cartagena, el ascenso ha sido algo menos pronunciado, pasando de 220 000 en 1991 a 320 000 habitantes en 2018.

Otro de los espacios que se han visto afectados por esta metamorfosis ha sido la superficie forestal. La cobertura compuesta por masa boscosa y matorral ha descendido 6,86% en la Vega Baja y 3,85% en el Campo de Cartagena, declive propiciado, principalmente, por su transformación a superficie de cultivo (3 842,58ha en la Vega Baja y 2 209,05ha en el Campo de Cartagena).

En un cómputo general, se puede advertir que las transformaciones territoriales experimentadas por la Vega Baja han sido muy superiores a las concurridas en el Campo de Cartagena. Los cambios de cobertura de suelo sufridos, a lo largo de la serie temporal analizada, en la comarca alicantina 19 375,3ha (20,24%) casi doblan a los concurridos en el Campo de Cartagena 10 049,09 ha (11,62%).

La cobertura urbana es la que mayor grado de desarrollo ha experimentado. En este sentido, la ganancia de cubierta destinada a uso urbano ha sido de 9 082,25ha (9,49%) en la Vega Baja y 5 777,52 ha (6,68%) en el Campo de Cartagena.

El porcentaje de cambio neto plasmado en la figura 9 manifiesta el amplio desarrollo de la superficie urbana en ambas delimitaciones. Se trata de la única categoría que adquiere un valor porcentual de cambio neto positivo en el Campo de Cartagena (82,20%).

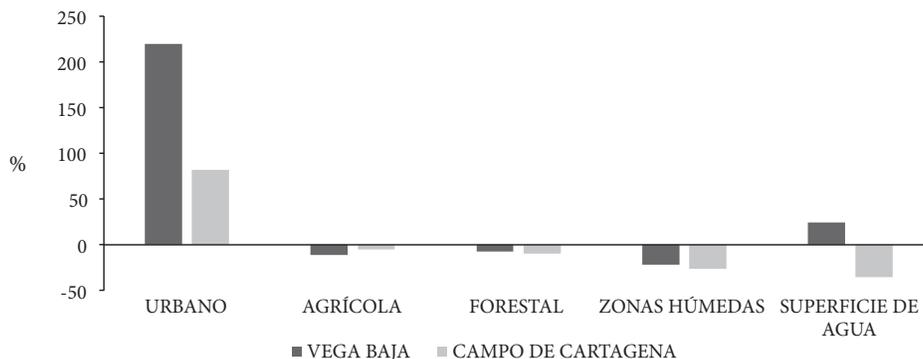


Fig. 9 – Evolución de superficie (%), 1990-2018.

*Fig. 9 – Evolution of surface (%), 1990-2018.*

Además de la cobertura urbana, la Vega Baja también ha experimentado un cambio neto positivo de superficies de agua (24,23%). El desarrollo de esa categoría queda enmascarado por el amplio avance de la superficie urbana (219,31%). El valor absoluto de cambio neto de la cobertura urbana ha alcanzado las 8 597,43ha en la Vega Baja y 5 063,09ha en el Campo de Cartagena (tabla V).

Tabla V – Cambio neto, total e intercambio de coberturas y usos del suelo.

*Table V – Net, total change and exchange of land cover and uses.*

	VEGA BAJA			CAMPO DE CARTAGENA		
	Cambio Neto (ha)	Cambio Total (ha)	Intercambio (ha)	Cambio Neto (ha)	Cambio Total (ha)	Intercambio (ha)
Urbano	8 597,43	9 567,07	969,64	5 063,09	6 491,95	1 428,86
Agrícola	-7 638,61	16 070,01	23 708,62	-2 880,15	8 217,71	11 097,86
Forestal	-1 421,80	11 707,12	13 128,92	-1 837,42	4 829,54	6 666,96
Zonas Húmedas	-209,66	604,02	813,68	-229,02	266,66	495,68
Superficies de Agua	672,64	802,38	129,74	-116,51	292,31	408,82

Las superficies más lastradas por la antropización (agrícola y forestal) han sido las que mayor dinamicidad de cambios han poseído, perdiendo la mayor parte de suelo neto y obteniendo la mayor tasa de cambio total e intercambio superficial.

## VI. CONCLUSIONES

El sureste de la península ibérica se ha caracterizado históricamente por la presencia de una doble amenaza que se repite de forma *cíclica*. Grandes episodios de lluvias torrenciales han derivado, en riadas, avenidas y desbordamientos que han infligido fuertes daños a la población y a sus bienes. A pesar de este peligro constante y las experiencias adquiridas en las últimas décadas para reducir el riesgo de inundación, el episodio de precipitaciones ocurrido entre el 11 y el 15 de septiembre de 2019 ha causado unas pérdidas estimadas de 434,6 millones de euros.

La situación sinóptica vino generada por el descolgamiento de una masa de aire frío que quedaría aislada sobre el Mediterráneo occidental. La disposición de los centros de acción haría de esta una perturbación poco común en cuanto a su génesis, desplazamiento, duración e intensidad se refiere. La DANA afectó durante cuatro días, en mayor o menor medida a todo el sureste peninsular, siendo su severidad especialmente significativa en la Vega Baja, donde se superó el récord de precipitación diaria, con 346,2mm en Orihuela el jueves de 12 de septiembre de 2019. Los acumulados superaron en esta zona de forma puntual los 500mm en todo el episodio. Sin embargo, la génesis de las inundaciones que se produjeron en esta área viene derivada de la cabecera del río Chícamo, donde a pesar de haberse registrado una menor cantidad de precipitación, provocó una fuerte avenida que conllevó la llena del Embalse de Santomera y que la escorrentía llegara a su desembocadura original. En cambio, en el Campo de Cartagena aun siendo las precipitaciones sensiblemente inferiores se ha registrado numerosos daños, precisamente en zonas donde ya se vieron afectadas por inundaciones en diciembre de 2016 tras el paso de otra DANA.

Más allá del aspecto pluviométrico, lo que se ha constatado también es una dinámica de transformación en los usos del suelo. Entre 1990 y la actualidad, queda patente el continuo desarrollo de la superficie urbana en detrimento de los espacios agrícolas, forestales y zonas húmedas. El proceso antropizador ha originado que la superficie artificial haya pasado de un 4,1% a un 13,1% en la Vega Baja y de 7,1% a 13% en el Campo de Cartagena-Mar Menor. La mayor parte de esta expansión urbana se ha concentrado fundamentalmente en la costa, así como en los márgenes del río Segura y entorno al Mar Menor. Este hecho provoca el aumento de la vulnerabilidad y exposición ante el riesgo de inundación.

Por último, como futura propuesta de trabajo se pretende realizar una modelización hidrológica para estimar el caudal del río Chícamo o rambla de Abanilla, antes de su azud de derivación, así como de otras ramblas que hubieran contribuido al desarrollo de las inundaciones ocurridas durante el episodio. Además, se pretende realizar un trabajo más detallado, donde se tenga en cuenta únicamente las zonas inundadas en dicho evento y los cambios en los usos del suelo habidos en estas áreas en los últimos 30 años.

## ORCID ID

Javier Martí Talavera  <https://orcid.org/0000-0002-1624-2843>

Juan Antonio Amor Jiménez  <https://orcid.org/0000-0003-3925-9944>

Ruben Giménez García  <https://orcid.org/0000-0001-7889-994X>

Victor Ruiz-Álvarez  <https://orcid.org/0000-0002-6630-4571>

Samuel Biener Camacho  <https://orcid.org/0000-0002-6418-588x>

## CONTRIBUCIONES DE LOS/LAS AUTORES/AS

**Javier Martí Talavera:** Conceptualización; Investigación; Redacción – revisión y edición; Supervisión. **Juan Antonio Amor Jiménez:** Metodología; Software; Investigación; Recursos; Curación de datos; Redacción – revisión y edición. **Ruben Giménez García:** Metodología; Software; Análisis formal; Investigación; Recursos; Redacción – revisión y edición. **Victor Ruiz-Álvarez:** Conceptualización; Investigación; Escritura – original preparación del borrador; Redacción – revisión y edición; Supervisión. **Samuel Biener Camacho:** Conceptualización; Análisis formal; Investigación; Recursos; Redacción – revisión y edición.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso Sarría, F., Gomariz Castillo, F., & Cánovas García, F. (2010). Análisis temporal de los cambios de usos del suelo en la cuenca del Segura mediante teledetección. Implicaciones sobre la degradación [Temporary analysis of land use changes in the Segura basin by remote sensing. Implications for degradation]. *Cuaternario y Geomorfología*, 24(3-4), 73-88.
- Arana Castillo, R., Rodríguez Estrella, T., Mancheño Jiménez, M., & Ortiz Silla, R. (1994). *Lugares de interés geológico de la Región de Murcia* [Geological sites of the Region of Murcia]. Agencia Regional para el Medio Ambiente y la Naturaleza.
- Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores. (2019, septiembre). *La DANA/gota fría causa pérdidas de 550 millones de euros al Sector Agroalimentario Alicante y ASAJA exige ayudas directas e inmediatas para los productores* [The DANA/cold drop causes losses of 550 million euros to the Alicante agri-food sector and ASAJA demands direct and immediate aid for producers]. AAJA.
- Benhamrouche, A., & Martín-Vide, J. (2011). Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante [Spatial distribution of daily precipitation concentration in the province of Alicante]. *Investigaciones Geográficas*, (56), 113-129. <https://doi.org/10.14198/INGEO2011.56.06>
- Box Amorós, M., & Morales Gil, A. (1993). Barrancos y ramblas: su incorporación al entramado urbano en el sureste peninsular [Ravines and wadi: their incorporation into the urban network in the southeastern peninsular]. *Investigaciones geográficas*, (11), 153-169. <https://doi.org/10.14198/INGEO1993.11.03>
- Calvo García-Tornel, F., Conesa García, C., & Álvarez Rogel, Y. (2001). La inundación de octubre de 1879 en el Bajo Segura. Magnitud y efectos inducidos [The flood of October 1879 in Bajo Segura. Magnitude and induced effects]. *Estudios Geográficos*, 62(242), 7-27. <https://doi.org/10.3989/egoeogr.2001.i242.292>
- Camarasa Belmonte, A. M., & Segura Beltrán, F. S. (2001). Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45(3), 229-249.
- Capel Molina, J. J. (1974). Génesis de las inundaciones de octubre de 1973 en el sureste de la Península

- Ibérica [Genesis of the floods of October 1973 in the southeast of the Iberian Peninsula]. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, (4), 149-166.
- Capel Molina, J. J. (1983). Distribución de la lluvia en el Sureste español. Periodo 1951-1980 [Rainfall distribution in southeastern Spain. Period 1951-1980]. *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses – Letras*, 3, 27-36.
- Capel Molina, J. J. (2000). Los sistemas convectivos de mesoescala y su influencia en la España mediterránea [Convective mesoscale systems and their influence in Mediterranean Spain]. *Papeles de Geografía*, (32), 29-43.
- Conesa García, C. (2006). Las formas de relieve [The shapes of the terrain]. In C. Conesa García (Ed.), *El medio físico de la Región de Murcia* [The physical environment of the Region of Murcia] (pp. 47-94). Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.
- Conesa García, C., & García García, E. (2003). Las áreas históricas de inundación en Cartagena: problemas de drenaje y actuaciones [Historical flood areas in Cartagena: drainage problems and actions]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (35), 79-100.
- Consorcio de Compensación de Seguros. (2019). *Estadística Riesgos Extraordinarios, Serie 1971-2018* [Extraordinary Risks Statistics, Serie 1971-2018]. Ministerio de Economía y Empresa.
- Consorcio de Compensación de Seguros. (2019, octubre). *Cuarta nota informativa del Consorcio de Compensación de Seguros sobre las inundaciones producidas entre los días 11 y 15 de septiembre en el sureste principalmente* [Fourth informative note of the Insurance Compensation Consortium on the floods that occurred between September 11 and 15 in the southeast mainly]. Ministerio de Economía y Empresa.
- Consorcio de Compensación de Seguros. (2020). *Estadística Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2019* [Extraordinary Risks Statistics. Serie 1971-2019]. Ministerio de Economía y Empresa.
- Espín Sánchez, D., & Romero Díaz, A. (2014). Génesis de tormentas severas y su incidencia en la Región de Murcia [Genesis of severe storms and their incidence in the Region of Murcia]. *Investigaciones Geográficas*, 62, 67-81.
- Espín Sánchez, D., García Lorenzo, R., Ruiz Álvarez, V., & Conesa García, C. (2017). The heavy rains and floods on 17 and 18 December 2016 in Region of Murcia, with particular focus on the Mar Menor Watershed. *Ingeniería del Agua*, 21(4), 213-229. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.7773>
- García Alvarado, J. M., Pérez González, M. E., & García Rodríguez, M. P. (2014). Revisión del concepto de sellado de suelos y propuesta de tipología urbana [Revision of the concept of soil sealing and proposal of urban typology]. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 34, 87-103.
- Garrido Abenza, R., Palenzuela Cruz, J. E., & Bañón Pelegrín, L. M. (2014). *Atlas climático de la Región de Murcia* [Climate Atlas of the Region of Murcia]. Agencia Estatal de Meteorología.
- Gaume, E., Borgia, M., Llassat, M. C., Maouche, S., Lang, M., & Diakakis, M. (2016). Mediterranean extreme floods and flash floods. In IRD & ALLENI (Eds.), *The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update* (pp. 133-144). IRD Editions.
- Gil Meseguer, E., Pérez Morales, A., & Gómez Espín, J. M. (2012). Precipitaciones y avenida del 28 de septiembre de 2012 en el cuadrante suroccidental de la cuenca del Segura (Municipios de Lorca, Puerto Lumbreras y Pulpi) [Rainfall and oaks of 28 September 2012 in the south-western quadrant of the Segura basin (Municipalities of Lorca, Puerto Lumbreras and Pulpi)]. *Papeles de Geografía*, 55-56, 75-94.
- Gil Olcina, A. (1988). Precipitaciones y regímenes fluviales en la vertiente mediterránea española [Rainfall and river regimes on the Spanish Mediterranean slope]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 7, 1-12.
- Gil Olcina, A. (2007). Mediterraneidad y subtropicalidad climáticas [Mediterraneity and climatic subtropicality]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 44, 53-68.
- Giménez, R., García, R., Serrano, J. M., & Pulido, M. (2018). Peri-Urban Dynamics in Murcia Region (SE Spain): The Successful Case of the Altorreal Complex. *Urban Science*, 2(3), 1-11. <https://doi.org/10.3390/urbansci2030060>
- Ibarra Marinas, D., Belmonte Serrato, F., & Rubio Iborra, J. (2017). El impacto territorial del uso agrícola y turístico del litoral: evolución de los cambios de uso del suelo en las cuencas litorales del sur de la Región de Murcia (1956-2013) [The territorial impact of agricultural and tourist use of the coast: evolution of land use changes in the

- southern coastal basins of the Region of Murcia (1956-2013)]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (73), 295-311.
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). *Cifras oficiales de población de los municipios españoles: Revisión del Padrón Municipal* [Official population figures for Spanish municipalities: Revision of the Municipal Register]. Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=517&capsel=525>
- López Martínez, F., Gil Guirado, S., & Pérez Morales, A. (2017). Who can you trust? Implications of institutional vulnerability in flood exposure along the Spanish Mediterranean coast. *Environmental Science & Policy*, 76, 29-39 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.06.004>
- Lorente-Plazas, R., Montavez, J. P., Ramos, A. M., Jerez, S., Trigo, R. M., & Jimenez-Guerrero, P. (2020). Unusual atmospheric-river-like structures coming from Africa induce extreme precipitation over the western Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(2), e2019JD031280. <https://doi.org/10.1029/2019JD031280>
- Marco, J. B. (1995). Hydrometeorological and hydraulic factors and problems related to floods in arid regions of Spain. In J. D. Salas & F. Siccardi (Eds.), *U.S.-Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods, Perugia (Italy)* (pp. 1-11). Colostate.
- Martín León, F. (2003). *Las gotas frías/DANAS. Ideas y conceptos básicos* [Cold Drops/DANAS. Basic Ideas and Concepts]. Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, Instituto Nacional de Meteorología.
- Martín Vide, J. (1989). Precipitaciones torrenciales en España [Torrential rainfall in Spain]. *Revista de geografía*, (6), 63-70.
- Mateu Bellés, J. F. (1990). Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica [Floods and flood risks in the Mediterranean river systems of the Iberian Peninsula.]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (10), 45-86.
- Nuñez Mora, J. A. (2019). *Análisis meteorológico y climático temporal de precipitaciones torrenciales septiembre de 2019 en la Comunidad Valenciana* [Meteorological and temporary climate analysis of torrential rainfall September 2019 in the Valencian Community]. AEMET.
- O'Reilly, K. (2009). Migración intraeuropea y cohesión social: el grado y la naturaleza de la integración de los migrantes británicos en España [Intra-European migration and social cohesion: the degree and nature of integration of British migrants in Spain]. In T. Mazón, R. Huete, & A. Mantecón (Eds.), *Turismo, urbanización y estilos de vida. Las nuevas formas de movilidad residencial* [Tourism, urbanization and lifestyles. The new forms of residential mobility] (pp. 249-268). Icaria.
- Olcina Cantos, J. (1992). Fenómenos de retrogresión estivales en el ámbito mediterráneo: desarrollos ciclogénéticos, sistemas convectivos de mesoescala y lluvias intensas. El episodio de 27 de septiembre a 7 de octubre de 1986 [Summer retrogression phenomena in the Mediterranean area: cyclogenetic developments, convective mesoscale systems and intense rainfall. The episode from 27 September to 7 October 1986]. *Investigaciones Geográficas*, (10), 79-102. <https://doi.org/10.14198/INGEO1992.10.10>
- Olcina Cantos, J. (1999). Temporales de octubre de 1957 en el levante español [Storms of October 1957 in the Spanish Levant]. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, (4), 129-152.
- Olcina Cantos, J., & Ayala Carcedo, F. J. (2002). Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación [Natural hazards. Fundamental concepts and classification]. In F. J. Ayala Carcedo & J. Olcina Cantos (Coords.), *Riesgos Naturales* [Natural Hazards] (pp. 41-74). Editorial Ariel.
- Olcina Cantos, J., & Díez Herrero, A. (2017). Cartografía de inundaciones en España [Flood mapping in Spain]. *Estudios Geográficos*, 78(282), 283-315. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201710>
- Olcina Cantos, J., & Rico Amorós, A. M. (2000). Estudios sobre lluvias torrenciales e inundaciones en la provincia de Alicante (1982-1999) [Studies on torrential rains and floods in the province of Alicante (1982-1999)]. *Serie Geográfica*, 9, 71-92. <http://hdl.handle.net/10045/23003>
- Olcina Cantos, J., Morote Seguido, A. F., & Hernández Hernández, M. (2018). Evaluación de los riesgos naturales en las políticas de ordenación urbana de los municipios de la provincia de Alicante. Legislación y cartografía de riesgo [Assessment of natural hazards in urban planning policies of municipalities in the province of Alicante. Legis-

- lation and risk mapping]. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 57(3), 152-176. <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6390>
- Pérez Cueva, J. A., & Armengot Serrano, R. (1983). El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cuenca baja del Júcar [The storm of October 1982 in the framework of torrential rains in the lower basin of the Júcar]. *Cuadernos de Geografía*, (32-33), 61-86.
- Pérez Morales, A., Gil Guirado, S., & Olcina Cantos, J. (2018). Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish south-eastern coast (1975-2013). *Journal of Flood Risk Management*, (11), 302-313. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12207>
- Pérez Morales, A., Romero Díaz, A., & Caballero Pedraza, A. (2016). Urbanization process and its influence in the increase in flooding (Region of Murcia, Campo de Cartagena-Mar Menor, Southeast Spain). *Aportación del Comité Español de la Unión Geográfica Internacional. The 33<sup>th</sup> International Geographical Congress*. IGU.
- Pontius Jr., R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Romero Díaz, A. (2007). El relieve [The terrain]. In A. Romero Díaz & F. Alonso Sarriá (Coords.), *Atlas Global de la Región de Murcia* [Global Registration of the Region of Murcia] (pp. 133-142). La Verdad Multimedia S. A.
- Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Docampo Calvo, A. M., & Ruiz Sinoga, J. D. (2011). Consecuencias del sellado de los suelos en el Campo de Cartagena (Murcia) [Consequences of sealing soils in the Campo de Cartagena (Murcia)]. In V. Gozávez Pérez & J. A. Marco Molina (Eds.) *Urbanismo expansivo de la utopía a la realidad* [Expansive urbanism from utopia to reality] (pp. 605-616). Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/48414>
- Romero Díaz, A., Caballero Pedraza, A., & Pérez Morales, A. (2017). Expansión urbana y turismo en la Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). Impacto en el sellado del suelo [Urban expansion and tourism in the Comarca del Campo de Cartagena-Mar Menor (Murcia). Impact on soil sealing]. *Cuadernos de Turismo*, (39), 521-546. <https://doi.org/10.6018/turismo.39.290691>
- Santos Deltell, M. J. (1991). Situaciones ciclogénéticas: estudio de precipitaciones superiores a 200mm en 24 horas en la provincia de Alicante, 1953-1989 [Cyclogenetic situations: study of rainfall in excess of 200mm in 24 hours in the province of Alicante, 1953-1989]. *Investigaciones geográficas*, (9), 129-140. <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO1991.09.15>
- Vera, J. F., & Baños, C. J. (2016). La dimensión territorial del turismo. Los objetos de la ordenación territorial de áreas turísticas: la definición del sistema turístico [The territorial dimension of tourism. The objects of the spatial planning of tourist areas: the definition of the tourist system]. In M. Simancas (Coord.), *La planificación y gestión territorial del turismo* [Planning and territorial management of tourism] (pp. 51-83). Síntesis.