

Las lluvias torrenciales e inundaciones de los días 17 y 18 de diciembre de 2016 en la Región de Murcia con particular incidencia en el área vertiente del Mar Menor

The heavy rains and floods on 17 and 18 December 2016 in the Region of Murcia, with particular focus on the Mar Menor Watershed

Espín Sánchez, D.^a, García Lorenzo, R.^{a, b}, Ruiz Álvarez, V.^a y Conesa García, C.^{a*}

^aDepartamento de Geografía, Universidad de Murcia, Campus de la Merced s/n, 30001 Murcia.
E-mail: cconesa@um.es

^bServicio de Integración e Información Ambiental, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, C/ Catedrático Eugenio Ubeda, 3, 30007 Murcia.

Recibido: 16/06/2017

Aceptado: 23/09/2017

Publicado: 31/10/2017

Citar como: 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 the 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>

RESUMEN

El episodio lluvioso del 17 y 18 de diciembre de 2016 es uno de los más significativos acaecidos en el Sureste Peninsular durante las dos últimas décadas. En el presente trabajo se analiza la incidencia de dicho suceso en la Región de Murcia, y de manera particular en el área vertiente del Mar Menor, donde se produjeron las inundaciones más importantes. Mediante el seguimiento de diferentes bandas satelitales del METEOSAT, imágenes de radares meteorológicos y datos de sondeos atmosféricos se han estudiado las situaciones sinópticas y la dinámica atmosférica que acompañó al suceso. A partir de los registros de un total de 129 estaciones meteorológicas, pertenecientes a diferentes Organismos, se ha confeccionado un mapa de la precipitación acumulada durante el episodio y otro de anomalía pluviométrica de diciembre de 2016 en comparación con el promedio de dicho mes en el período 1981-2010. También ha sido analizada la precipitación máxima alcanzada en 1 y 12 horas para un total de 64 estaciones, en relación con los umbrales y niveles de aviso establecidos por AEMET. Finalmente, se han empleado dos métodos hidrometeorológicos, el HU adimensional del SCS (HU SCS) y el HU de Témez (HUT), para el cálculo de los caudales pico de avenida que circularon por las ramblas litorales del Mar Menor y causaron inundaciones en la zona de Los Alcázares. Según los resultados más consistentes del modelo HU SCS, los caudales punta de las ramblas del Albujón y de la Maraña generados por este suceso en dicha zona se estiman en torno a 820 y 258 m³/s respectivamente.

Palabras clave | episodio lluvioso; 17-18 de diciembre 2016; situación sinóptica; lluvia acumulada; anomalía pluviométrica; inundaciones; modelización hidrológica; Región de Murcia; área vertiente del Mar Menor.

ABSTRACT

The heavy rains on December 17-18, 2016 were one of the most significant events that have occurred in southeastern Spain over the last two decades. In the present study the incidence of these rains in the Region of Murcia, and especially in the Mar Menor watershed, is analyzed, with particular focus on the flooded areas. The synoptic situation and the atmospheric dynamics were studied through monitoring of different METEOSAT's satellite bands, images from weather radars and data from atmospheric soundings. A map showing the accumulated rainfall during the event and another one concerning the pluviometric anomaly of December 2016 in comparison with the average for this month in the period from 1981 to 2010 were produced using precipitation data of 129 weather stations belonging to different organizations. The maximum precipitation reached in 1 and 12 hours for a total of 64 stations was also analyzed, in relation to the thresholds and alarm levels which are established by AEMET. Finally, two hydrometeorological methods, the SCS Dimensionless Unit Hydrograph -SCS DUH- and the Témez's Unit Hydrograph Method -TUH-, were used in order

to estimate the flood-peak discharges in ephemeral streams flowing to the Mar Menor, which led to flooding in the Alcazares area. In accordance with the more consistent results of SCS DUH, the flood-peak discharges caused in this area by the Albuñón and Maraña ramblas were estimated to be around 820 and 258 m³/s respectively.

Key words | heavy rain event; December 17-18, 2016; synoptic situation; accumulated rainfall; pluviometric anomaly; floods; hydrological modeling; Region of Murcia; Mar Menor watershed.

INTRODUCCIÓN

Las lluvias copiosas e intensas, y las inundaciones son fenómenos a menudo estrechamente relacionados dentro del ámbito mediterráneo, que se caracteriza por un régimen pluviométrico muy irregular y la ocurrencia ocasional de sucesos hidrológicos extremos. Su estudio ha sido abordado por numerosos autores, a diferentes escalas y desde diversas perspectivas, atendiendo a su naturaleza, frecuencia, magnitud, causas y efectos. De hecho, abundan los trabajos realizados a escala global y mesoescala sobre los factores generadores de este tipo de precipitaciones en el Mediterráneo occidental (Llasat *et al.*, 1996, 2004). A escala local, el estudio de lluvias copiosas y/o intensas, dentro de este ámbito, ha estado orientado principalmente hacia el análisis de las situaciones sinópticas que las generan. Existen multitud de estudios sobre episodios de precipitaciones fuertes y/o copiosas en el ámbito mediterráneo español, en muchos casos asociadas a la presencia en altura de depresiones aisladas de niveles altos (DANAs) (e.g., Capel Molina, 1974, 1989; Conesa García, 1985; Quereda y Obiol, 1991; Ramis *et al.*, 1994; Olcina, 1999; Pascual *et al.*, 2001; Calvo *et al.*, 2001; Homar *et al.*, 2002; Llasat *et al.*, 2002; Genovés y Jansà, 2003; López y Arán, 2005; Oliva *et al.*, 2006; CEAM, 2007; Riesco *et al.*, 2013; Senciales y Ruiz-Sinoga, 2013). Destacan, en este sentido, las aportaciones de Capel Molina (1974, 1989, 1990) en relación con las inundaciones ocurridas en la fachada mediterránea desde Andalucía oriental (Málaga) a Cataluña, y en particular las producidas en torno al río Segura y el Levante almeriense. También cabe citar, dentro de dicho contexto, las investigaciones de Llasat (1987) y Llasat y Puigcerver (1994) sobre la circulación de alto índice meridiana (DANA) y la génesis de las precipitaciones torrenciales en el noreste peninsular, y el trabajo de Olcina Cantos y Rico Amorós (2000) sobre las causas sinópticas de las lluvias torrenciales en la provincia de Alicante.

En la Región de Murcia, el estudio de las inundaciones en los inicios del siglo XXI llevado a cabo por Castejón y Romero (2014) muestra la ocurrencia de seis importantes inundaciones entre los meses de agosto y noviembre durante el periodo 2000-2012. El primer episodio destacable de este siglo se produjo el 23 de octubre de 2000, cuando un embolsamiento de aire frío en altura (-20°C), con vientos de levante, se situó sobre el triángulo de Cabo Palos-Mazarrón-Sierra de Carrascoy, desencadenando lluvias muy intensas (170 mm en menos de 6 horas en la Sierra de Almenara) y un caudal pico de 600 m³/s en la rambla de Benipila a su paso por Cartagena (Conesa García y García-García, 2003). Con un cuadro sinóptico parecido, las lluvias torrenciales del 27 y 28 de septiembre de 2009 afectaron principalmente a la mitad sur de la Región de Murcia (Lorca, Murcia, Águilas, Cartagena y San Javier). Un mayor impacto y extensión tuvieron los fuertes aguaceros del 28 de septiembre de 2012 en todo el Sureste Peninsular (García *et al.*, 2013; Amengual *et al.*, 2015; Gil Olcina, 2016). La especial intensidad que alcanzaron en la cabecera de la rambla de Nogalte (170 mm en menos de dos horas) desembocó en una abultada avenida de esta rambla, que contribuyó a incrementar de forma considerable el caudal pico del Guadalentín aguas abajo. El embalse de Puentes registró un caudal de entrada superior a los 1800 m³/s y no pudo evitar que el Guadalentín desaguara 616 m³/s a su paso por Lorca (Gil Meseguer *et al.*, 2012). Las lluvias torrenciales del 22 de septiembre de 2014 provocaron desbordamientos de ramblas e inundaciones en la Vega Media, el Valle del Guadalentín, el Altiplano y la comarca del Noroeste. Por último, durante los días 17 y 18 de diciembre de 2016 se registraron abundantes y persistentes lluvias que afectaron a toda la Región de Murcia, y en particular al área vertiente al Mar Menor, cuyo litoral sufrió los efectos destructivos del oleaje y de las aguas desbordadas de numerosas ramblas. Todos estos episodios van generalmente acompañados de importantes efectos sobre la población (Pérez-Morales, 2010; Álvarez Rogel *et al.*, 2010), la actividad económica, el tráfico y las redes de comunicación (Conesa García y García Lorenzo, 2014; Conesa García *et al.*, 2016), y sobre la propia dinámica morfológica de los cauces (Hooke y Mant, 2000).

En el presente artículo se aborda el estudio de las copiosas lluvias e inundaciones de los días 17 y 18 de diciembre de 2016 en la región de Murcia, y de forma particular en la cuenca vertiente del Mar Menor. Su interés se justifica por dos hechos significativos: 1. por su considerable impacto sobre la actividad económica de las zonas afectadas, y 2. por suponer una anomalía en el régimen

típico mediterráneo de este tipo de precipitaciones. Las pérdidas económicas durante el episodio analizado fueron muy cuantiosas, sobre todo en los sectores agrario y turístico. El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), entidad estatal dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, ha estimado en un total de 70.4 millones de euros las pérdidas provocadas por las inundaciones en todo el Sureste Peninsular y las Islas Baleares, siendo el área más afectada la Región de Murcia. En total, el CCS ha recibido 13394 solicitudes de indemnización, de las cuales 8564 corresponden a la Región de Murcia (un 64% del total). Dentro de este territorio, el municipio más afectado fue sin duda alguna Los Alcázares, con un total de 3419 solicitudes, seguidos por los municipios de Murcia y San Javier, con 1491 y 1484, respectivamente. Recientemente, el gobierno español aprobó una serie de medidas urgentes para paliar los daños causados por dicho temporal (Real Decreto ley 2/2017, de 27 de enero). Respecto al segundo hecho de interés, cabe reseñar que este episodio puede formar parte del cuadro de posibles anomalías pluviométricas, previstas en los modelos climáticos regionales del Quinto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*the IPCC Fifth Assessment Report, AR5*). La ocurrencia de este tipo de suceso en el mes de diciembre es poco común del régimen pluviométrico mediterráneo peninsular, tradicionalmente caracterizado por el predominio de lluvias intensas en otoño. Tal hecho concuerda con los resultados obtenidos por Amblar-Francés *et al.* (2016) para la cuenca del Segura y demás cuencas de la vertiente mediterránea peninsular, a partir de la intercomparación de modelos acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5, CMIP5*) utilizados en la elaboración del AR5. En dicho estudio se constata una ligera tendencia positiva de cambio en las precipitaciones intensas producidas en invierno.

MATERIAL Y MÉTODOS

Análisis de las precipitaciones

El análisis meteorológico del episodio 15-19 de diciembre de 2017 ha sido realizado mediante el seguimiento de diferentes bandas satelitales del METEOSAT, radar meteorológico y datos de sondeos atmosféricos, disponibles en la web Eumetrain.org. Para la elaboración del mapa de precipitación acumulada en la Región de Murcia durante dicho episodio se han utilizado los registros de un total de 129 estaciones meteorológicas de la Región de Murcia (Figura 1), pertenecientes a seis entidades diferentes:

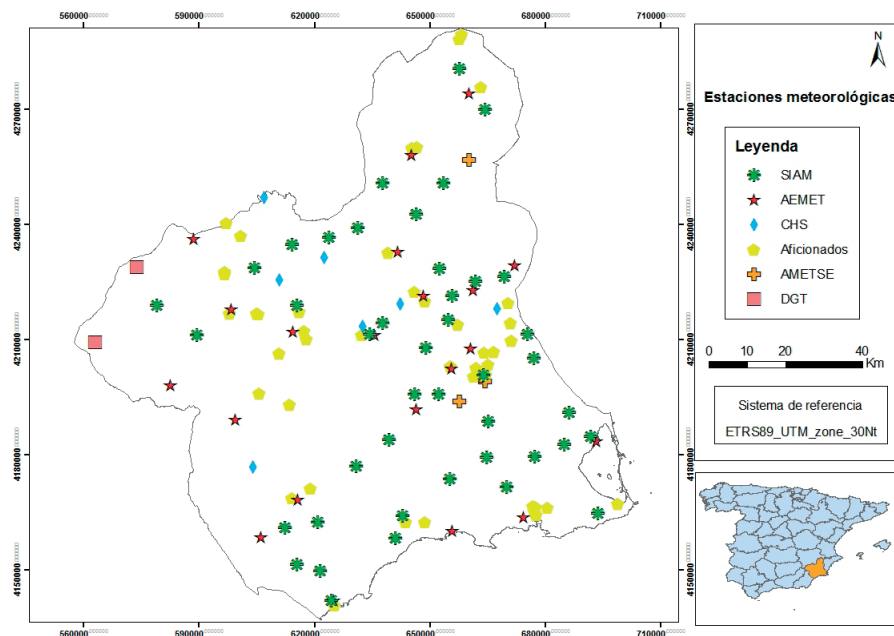


Figura 1 | Estaciones meteorológicas de la Región de Murcia utilizadas en el estudio.

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 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), Confederación Hidrográfica del Segura (CHS), Dirección General de Tráfico (DGT) y estaciones meteorológicas automáticas Davis Pro Vantage 2 y Davis Vue, de diversos aficionados a la meteorología de la Región de Murcia.

El citado mapa ha sido obtenido por medio del método de interpolación espacial "*krigeado* ordinario de variograma esférico". Con el fin de comparar la magnitud del episodio con los avisos meteorológicos oficiales que establece AEMET para las precipitaciones en la Región de Murcia, éstos han sido contrastados con los valores máximos acumulados en intervalos de 1 y 12 horas de duración de 64 estaciones que disponen de datos pluviométricos horarios durante las jornadas de los días 17 y 18. Finalmente, se ha confeccionado un mapa de anomalías pluviométricas del mes de diciembre, comparando el mapa de precipitación acumulada durante el mes de diciembre de 2016, y el promediado para el mismo mes en la Región de Murcia durante el periodo de referencia 1981-2010, éste último generado también por *krigeado* ordinario a partir de los datos de 55 observatorios meteorológicos de AEMET.

Modelización hidrológica

La modelización hidrológica ha estado principalmente basada en el uso de métodos hidrometeorológicos aplicados al área vertiente del Mar Menor, por ser ésta la zona con mayor precipitación de toda la Región durante el citado suceso. En concreto, se ha aplicado el hidrograma unitario adimensional del SCS y el de Témez a las cuencas de las ramblas del Albuñón y de la Maraña, ya que ambas desembocan en las inmediaciones de la localidad de Los Alcázares, la más afectada por las inundaciones producidas los días 18 y 19 de diciembre. La estimación de caudales de avenida para cada una de las ramblas de estudio se ha realizado sobre la base de la tormenta de los días 15-19 de diciembre y a partir de los parámetros configurables en el programa HEC-HMS.

Recopilación y uso de datos pluviométricos

Para el proceso de modelización hidrometeorológica se ha utilizado la información de los pluviómetros del Ministerio de Agricultura (MAGRAPA), situados dentro de las cuencas de estudio y con una frecuencia de medición de 10'. Concretamente, y previa aplicación de la técnica de triángulos de Thiessen a los observatorios de la zona, se han elegido ocho pluviómetros en la cuenca de la rambla de la Maraña (M) y diez en la del Albuñón (A), cinco de los cuales quedaron incluidos en ambas cuencas. Como parte integrada del proceso de conversión lluvia-escorrentía, se emplearon los yetogramas promedios del episodio pluviométrico generados por el programa HEC-HMS para las principales subcuencas tributarias de ambas ramblas (Figura 2).

Obtención de datos geométricos

El elemento básico para el análisis hidrológico es la cuenca, lo que extrapolándolo a términos de modelización hidrológica se reduce a un modelo digital del terreno (MDT) a partir del que se genera la red de drenaje y el resto de elementos hidrológicos necesarios para el modelo, como las subcuencas, tramos, confluencias, derivaciones, fuentes y sumideros (García Lorenzo y Conesa García, 2011). Para la conversión de datos de lluvia a escorrentía se ha empleado el programa HEC-HMS 3.5 en combinación con la extensión HEC-GeoHMS 1.1 de ArcView 3.x. Dicha extensión permite visualizar información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y cauces y construir las entradas para modelos hidrológicos (Nanía y Gómez-Valentín, 2007). El MDT utilizado en ArcView tiene un formato GRID y una resolución de celda de 4 x 4 m (CAAMA, 2008). A partir del *grid* se obtienen conjuntos de datos que describen los patrones de drenaje de la cuenca: dirección y acumulación de flujo, definición y segmentación de cauces (por subcuencas y confluencias), delimitación de cuencas y subcuencas. Una vez delimitada la cuenca y establecido el punto de desembocadura, se ha modificado, según criterios geográficos, el número de subcuencas generado de forma automática. Por ejemplo, se ha procedido a la unión de subcuencas homogéneas en textura y rugosidad (especialmente en cabecera) o a la subdivisión de otras por rupturas de pendiente en el cauce (en alguna confluencia importante o por imperativo de las cotas del MDT). La mayor dificultad encontrada en este proceso de delimitación de cuencas es la escasa pendiente del terreno (salvo en las zonas de cabecera), unida a la gran alteración topográfica que ha supuesto el acondicionamiento de las tierras agrícolas

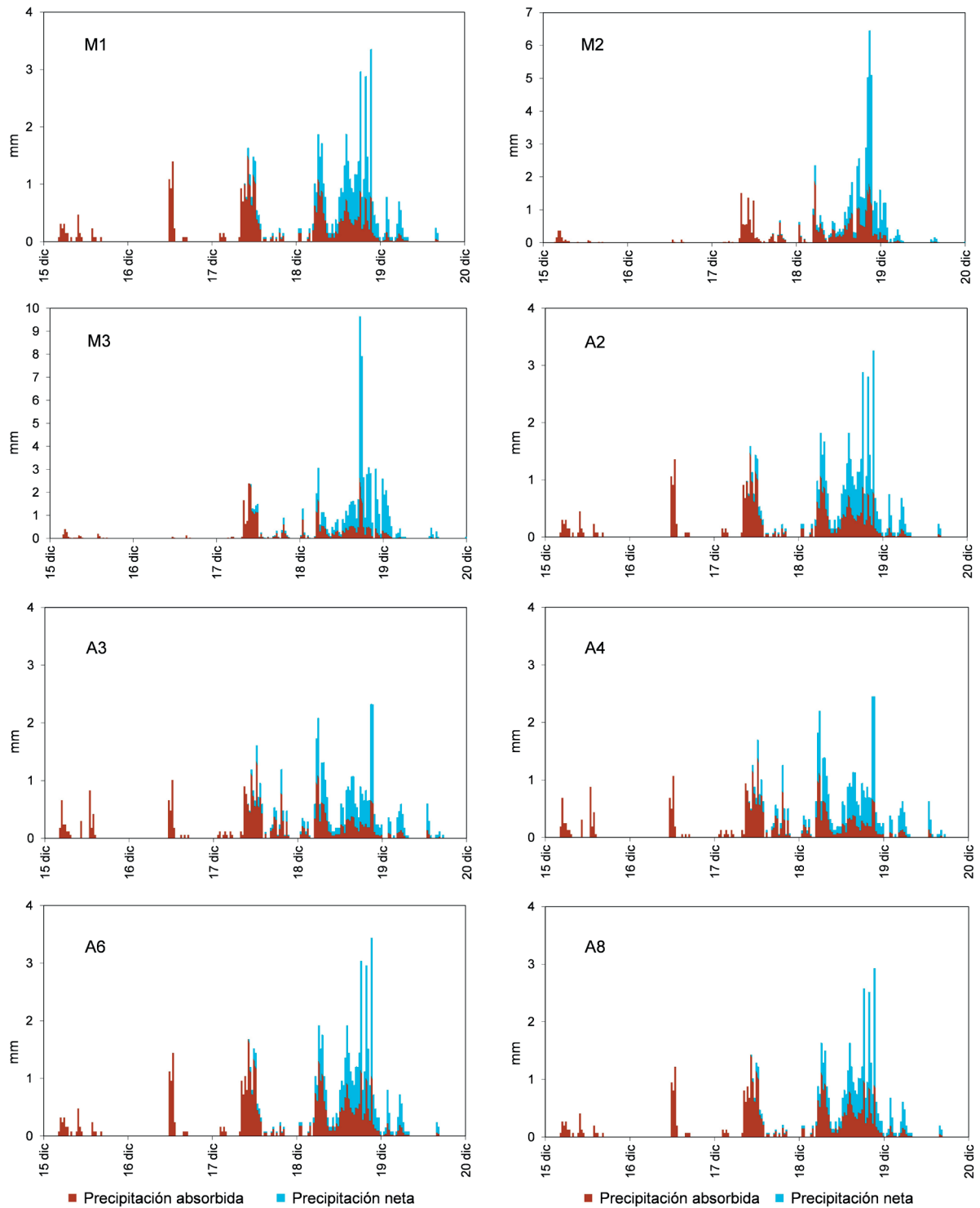


Figura 2 | Yetogramas promedios del episodio pluviométrico del 15 al 19 de diciembre de 2016 utilizados en la modelización hidrológica con HEC-HMS de las principales subcuencas tributarias de las ramblas del Albuñón (A) y de la Maraña (M). Para la localización de cada subcuenca (e.g. A2) véase Figura 8.

(abancalamientos, drenajes) y a la existencia de una infraestructura viaria transversal, la autopista AP-7, por cuyos terraplenes es desviada gran parte de las aguas de avenida en episodios lluviosos importantes.

Cálculo de abstracciones

En el modelo de conversión lluvia-escorrentía el parámetro de infiltración o de pérdida de escorrentía depende de la pendiente, del uso de suelo, la litología y la condición antecedente de humedad del suelo. Para el cálculo de la lluvia efectiva se ha considerado la pérdida inicial (o umbral de escorrentía P_0 en mm) y el número de curva (NC) adimensional propuesto por el SCS (*Soil Conservation Service*, USDA) (1972). Éste último representa las características de los grupos hidrológicos de suelos de la cuenca y toma valores de 0 a 100 según su grado de permeabilidad. La textura del sustrato de cada grupo de suelo ha sido definida a partir de una capa vectorial del Mapa Geológico Nacional (MAGNA), 1:50 000, del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Como mapa de usos de suelo ha sido utilizado el *Corine Land Cover* de 2006, actualizado con los nuevos usos (e.g. superficies de invernaderos) que figuran en el catastro SIGPAC de 2016. La combinación de las geometrías y las tablas de datos de ambas coberturas (unidades litológicas y usos del suelo) en un entorno SIG ha facilitado la identificación y representación espacial de los diferentes grupos hidrológicos de suelo y, por tanto, el cálculo del número de curva de infiltración para cada cuenca. Finalmente, dada la prolongada etapa seca que había precedido al episodio, se incorporó a HEC-HMS la premisa de estado seco del suelo como condición antecedente de humedad.

Modelos hidrometeorológicos aplicados

Los datos de los pluviómetros seleccionados han sido asignados a cada subcuenca según el peso de los mismos a partir de la superficie de influencia calculada con los polígonos de Thiessen (Chow *et al.*, 1994). Como métodos de hidrograma se han adoptado el hidrograma unitario adimensional del SCS (HU SCS) y el de Témez (HUT). En cambio, el método racional ha sido descartado porque la gran extensión de la cuenca del Albuñón dificulta que se cumplan sus hipótesis fundamentales (uniformidad del coeficiente de escorrentía, igual duración de la lluvia y del tiempo de concentración), proporcionando unos valores muy por debajo de lo esperable para un suceso de esta magnitud. El modelo adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el que los caudales se expresan en función del caudal pico (q_p), y los tiempos en función del tiempo al pico (T_p), siendo q_p y T_p estimados a partir del HU triangular del SCS. El tiempo de recesión (tr) y el T_p están relacionados mediante la expresión:

$$tr = 1,67T_p \quad (1)$$

Como el hidrograma unitario es una respuesta de la cuenca a una unidad de lluvia neta generada uniformemente en toda la cuenca se demuestra que:

$$q_p = \frac{2,08A}{T_p} \quad (2)$$

donde q_p es el caudal pico (m^3/s); A , el área de la cuenca (km^2); y T_p , el tiempo al pico (h), que se obtiene según la expresión:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p \quad (3)$$

donde D es la duración de la lluvia efectiva (h); y t_p , el tiempo al caudal pico¹. Estudios realizados en EE.UU. en cuencas rurales de diversos tamaños (SCS, 1972) indican que dicho tiempo de retardo es alrededor de 0.6 veces el tiempo de concentración (T_c) de la cuenca, considerado como el transcurrido desde la finalización de la lluvia neta hasta el punto de inflexión de la rama descendente del hidrograma adimensional. El HU triangular de Témez es una modificación del HUS Triangular del SCS adaptado

¹ Diferente del tiempo de retardo, t_{lag} , igual al tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el centro de gravedad del hidrograma de escorrentía directa (Nanía y Gómez Valentín, 2006)

a las condiciones locales, de modo que el caudal punta tiende a ser mayor y el tiempo base menor (Témez, 1987; Ferrer, 2000). En cambio, diversos ensayos desarrollados por el MOPU (1990) en cuencas españolas han dado como resultado una ratio t_p/T_c algo menor, en torno a 0.35, recomendando la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.3(L/J^{0.25})^{0.76} \quad (4)$$

donde T_c es el tiempo de concentración (h); L , la longitud del cauce (km); y J , la pendiente (adimensional). A diferencia del método del SCS el T_c transcurre desde el fin de la lluvia efectiva hasta el fin del hidrograma unitario triangular (Témez, 2003).

Propagación de la corriente

Como propagación de una avenida se entiende la forma en que evoluciona su hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce. La mayoría de modelos de propagación de la corriente (*flow routing*) son procedimientos matemáticos diseñados para predecir posibles cambios en la magnitud, velocidad y forma de las ondas de avenida como una función del tiempo en varios puntos del cauce conforme dicha onda se desplaza (García y Conesa, 2011). En nuestro caso, se ha empleado el método *Muskingum*, que incluye como variables principales la longitud de los tramos de propagación y la pendiente. El factor k utilizado para el cálculo del volumen de almacenamiento en cuña (S_c) (Ecuación 5) en las cuencas de estudio se ha estimado con un valor aproximado al tiempo de concentración según la fórmula de Témez (Ecuación 6):

$$S_c = KX(I - Q) \quad (5)$$

$$K = 0.18(L/J^{0.25})^{0.76} \quad (6)$$

donde K es una medida del tiempo de transporte de una onda de un punto a otro, expresada en horas; I , el caudal de entrada, y Q , el de salida; y X , una variable adimensional que fluctúa entre 0 (cuando el almacenamiento está directamente relacionado con el caudal de salida) y 0.5 (traslación de la onda sin atenuación en el cauce). Por lo general, se ha adoptado un valor de 0.2, excepto en los tramos finales de ambas ramblas, en los que el valor de 0 es el más adecuado por aparecer aquéllos prácticamente difuminados dentro de amplios llanos de inundación sin apenas desnivel, con frecuentes desbordamientos y alta capacidad de laminación (Olivares, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sinopsis y análisis del episodio pluviométrico

Durante las jornadas del jueves 15 y viernes 16 de diciembre, se produjo en la Península Ibérica el descuelgue latitudinal de una vaguada atlántica de onda corta, cuyo origen polar marítimo (Pm) se asoció a una primera banda pre-frontal que dejó ligeras precipitaciones en la Región de Murcia. Horas después, empezó a gestarse una onda atmosférica con claro reflejo en altura, y cuyo desplazamiento, según la modelización de los principales modelos globales, se dirigió al Golfo de Cádiz, trasladándose posteriormente hacia la parte occidental de Marruecos. La baja en altura, bastante profunda (Geopotencial 500 hPa a 5528 m), quedó aislada de la circulación general atmosférica, lo que, unido a su posición sobre Marruecos, generó vientos en altura del sureste, con clara divergencia sobre la costa murciana. La estacionalidad de la DANA, unido al flujo del E-SE en superficie, generó una acusada inestabilidad los días 17 y 18 de diciembre. La persistencia e intensidad del anticiclón centroeuropeo (1036 hPa), unido a bajas presiones relativas al sur de la Península, configuraron un nítido pasillo de flujo de componente este sobre la Región de Murcia. Asimismo, la génesis de una baja secundaria al sur de Marruecos provocó un menor gradiente de presión, y vientos de componente este relativamente intensos, tal y como muestra el *Extreme Forecast Index* (EFI) del modelo ECMWF durante la jornada del domingo. Paralelamente se produjo una clara advección de humedad en niveles bajos con gran recorrido marítimo, que arrancó desde el sur de Grecia y recorrió gran parte del mar Mediterráneo. El asentamiento de las bajas presiones en el mar de Alborán proporcionó abundante precipitación efectiva a la inestabilidad baroclina conformada en el área de estudio. Con el inicio

de la semana, y la llegada del lunes 19, la DANA fue desplazándose hacia el este de Marruecos, produciéndose por tanto un role de los vientos en capas altas atmosféricas, y variando también el flujo superficial hacia el NE, lo que hizo decrecer significativamente las precipitaciones en la Región de Murcia, salvo en el Altiplano.

Durante la jornada del jueves 15 se produjeron las primeras precipitaciones sobre la Región de Murcia, asociada a una primera DANA, de pequeño tamaño, que quedó aislada sobre el norte de Marruecos, dejando cantidades de precipitación de 24.1 l/m² en el Campillo de Abajo (Fuente Álamo) y 16.8 l/m² en Cartagena. Con el paso de las horas, la masa de aire frío post-frontal asociado a la vaguada atlántica, comenzó a generar inestabilidad acusada en el suroeste peninsular. Con la llegada del viernes 16 se produjeron los primeros chubascos de entidad en la mitad occidental de la Región de Murcia (40.0 l/m² en el Embalse de Valdeinfierno), con precipitaciones de cierta intensidad (8.8 l/m² en una hora en Molina de Segura). El acercamiento de la zona de divergencia al oeste regional, unido al flujo de vientos del este en superficie, generó la saturación atmosférica desde superficie hasta 716 hPa (2851 m). En horas posteriores se produjo un cese momentáneo de las precipitaciones en la región, debido al movimiento cuasi-estacionario de la baja en altura en proceso de aislamiento frente a Casablanca (Marruecos). A partir de mediodía del sábado 17, una banda nubosa muy activa accedió a la Región de Murcia por su flanco meridional. La efectividad de la precipitación empezó a ser óptima, con una atmósfera totalmente saturada (>95% HR) hasta el geopotencial de 473 hPa (6084 m de altitud). La precipitación de dicha jornada fue muy relevante en el Bajo Guadalentín, especialmente en Purias (Lorca) (79.6 l/m²) y Tébar (66.1 l/m²), así como en torno a la costera sur de la ciudad de Murcia (83.5 l/m² en Santo Ángel y 79 l/m² en La Alberca). Respecto al grado de intensidad pluviométrica, destaca la magnitud que alcanzó la precipitación acumulada en una hora en Cartagena (30.8 l/m²) y Murcia (21.4 l/m²), o en 12 horas (79.8 l/m² en Cartagena; 73.9 l/m² en Purias). En el litoral murciano se registraron igualmente precipitaciones importantes durante dicha jornada (e.g. más de 60 l/m² en Cartagena, 54 l/m² en Fuente Álamo y 49.5 l/m² en Santiago de la Ribera). En esta última zona se dieron intensidades apreciables (17.2 l/m² en una hora o 48.4 l/m² en 12 horas), que generaron una escorrentía importante en las ramblas del litoral de San Javier y Torre Pacheco.

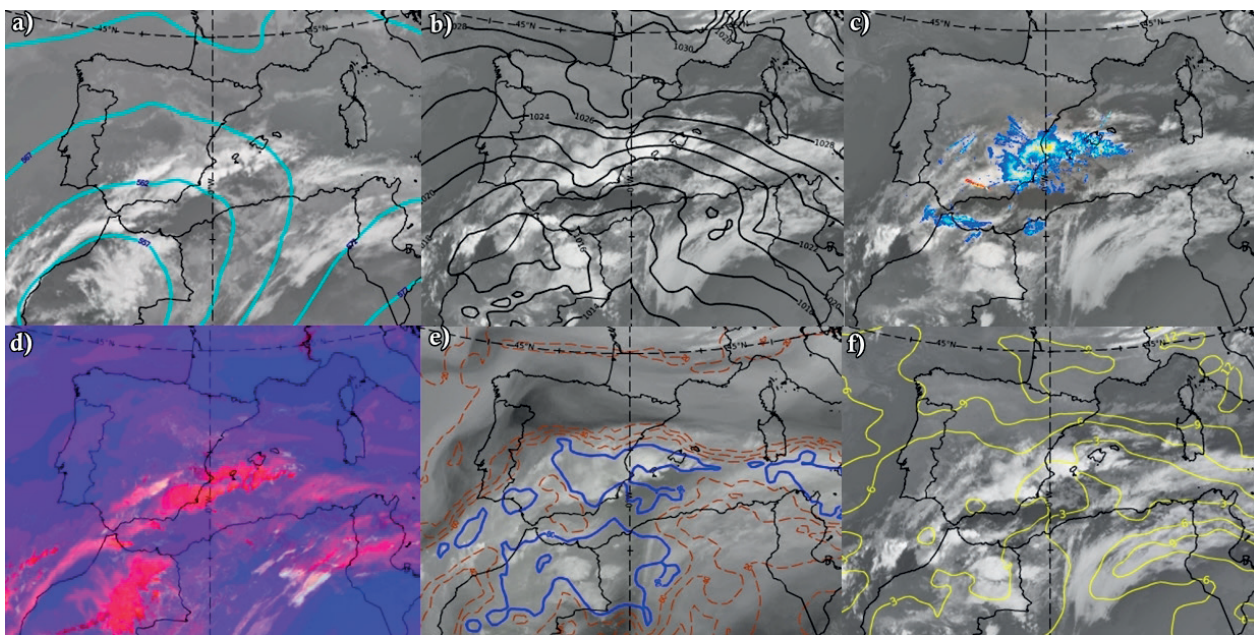


Figura 3 | Configuración sinóptica del 18-12-2016. a) Satélite IR+Geopotencial 500 hPa; b) IR + Presión superficie; c) IR + Radar; d) Satélite Canal Convección severa; e) satélite VW + humedad relativa a 700 hPa; f) IR + índice convectivo Showalter. Fuente: EUMeTrain.

Con el desplazamiento de la DANA hacia sectores centrales de Marruecos, se generó una zona de acusada divergencia en las capas altas atmosféricas, que convirtió el domingo 18 de diciembre en la jornada de mayor pluviosidad efectiva en la Región de Murcia (Figura 3). Los condicionantes de precipitación efectiva en la columna atmosférica durante este día 18 de diciembre continuaron siendo excepcionales para este tipo de lluvias copiosas y de carácter torrencial, con un porcentaje de humedad relativa

superior al 95% desde superficie a 539 hPa (5036 m de altitud), y con un disparo vertical perfecto, cuyo gradiente de $5^{\circ}\text{C}/1000\text{ m}$ apenas presentó discontinuidades en forma de inversión térmica (inhibición). Con estos parámetros higrométricos en parte asociados a la ya descrita advección húmeda mediterránea, se acumularon cantidades muy importantes de precipitación en la Región de Murcia. Así pues, se registraron 212 l/m^2 en Torre Blanca, de los que 49.3 l/m^2 cayeron en una hora, y 191.7 l/m^2 en 12 horas. Sin duda, la zona litoral de Torre Pacheco-San Javier fue la más afectada durante dicha jornada, con registros de precipitación total de 189.6 l/m^2 en Santiago de la Ribera y de 149.9 l/m^2 en el Aeródromo de San Javier. Igualmente, la costera sur, otra zona que el día anterior recibió precipitación abundante, acumuló cantidades de hasta 155.5 l/m^2 en La Alberca, 143.6 l/m^2 en El Sequén y 138.2 l/m^2 en La Vereda. La principal diferencia entre ambas zonas en dicha jornada vino marcada por el grado de intensidad pluviométrica, que resultó ser mucho mayor durante la tarde-noche en el sector litoral (52.8 l/m^2 en 1 hora y 169.6 l/m^2 en 12 horas en Santiago de la Ribera). Estas lluvias torrenciales se debieron a la incursión de una banda convectiva por el norte del Mar Menor, procedente del sur de Ibiza, que generó una gran actividad tormentosa, con más de 390 descargas nube-tierra el norte del Campo de Cartagena (442 en el total regional). Entre las condiciones convectivas que afectaron a gran parte de la región destacan una CAPE de más de 200 J/kg para diciembre, el Show Index en 3°C (convección moderada), un nivel de convección libre (CCL) muy bajo (680 m de altitud) y una cizalladura sustancial a un nivel de 800 hPa , cuyo rol de vientos vertical de sur a noreste contribuyó a la severidad convectiva de la tarde del 18.

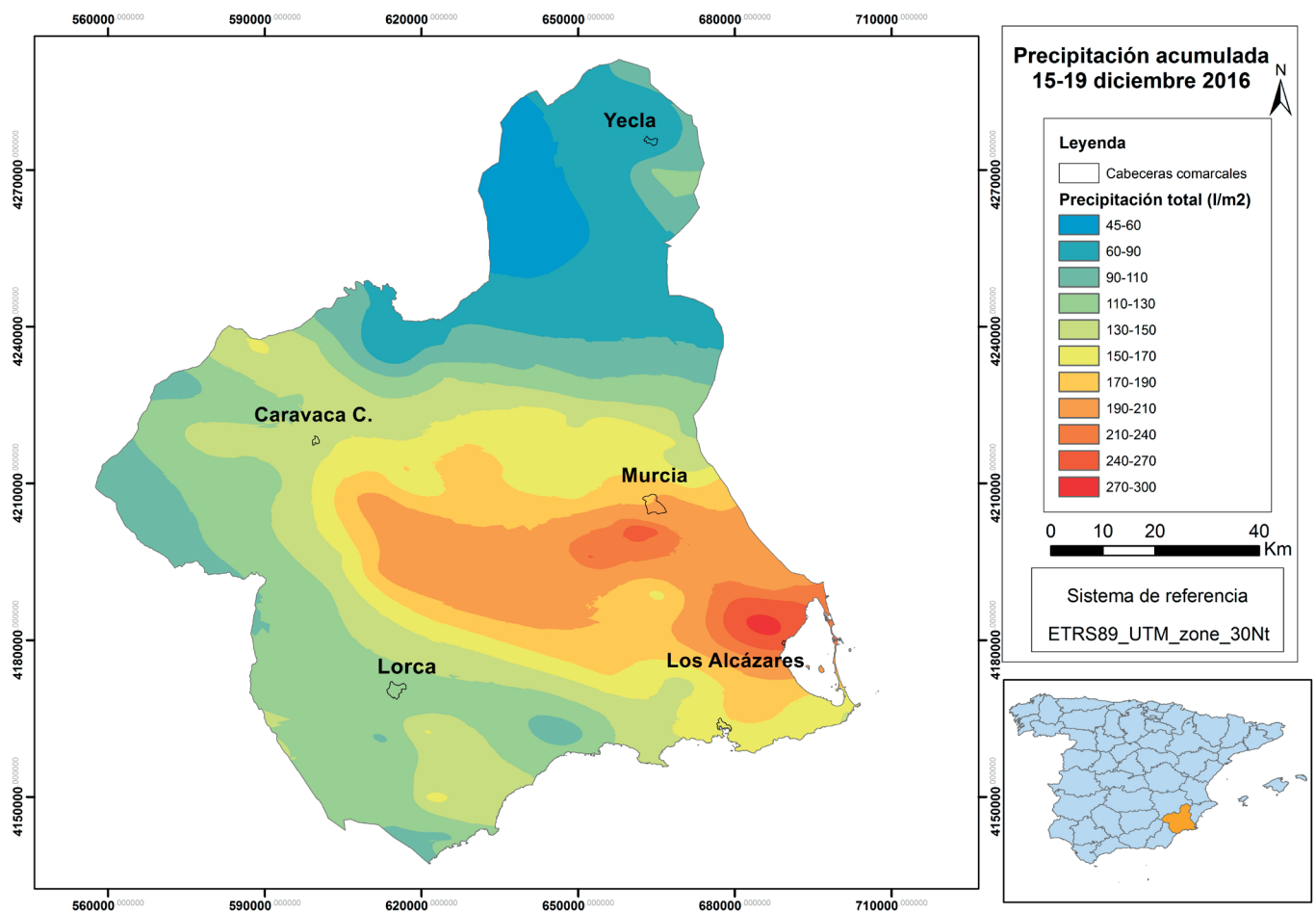


Figura 4 | Distribución espacial de la precipitación acumulada durante los días 15 al 19 de diciembre de 2016.

Transcurridas las siguientes horas, en la madrugada del lunes 19, la DANA se desplazó hacia el norte de Argelia extendiendo la inestabilidad a la Comunidad Valenciana. La divergencia en altura comenzó a abandonar la Región de Murcia, y la saturación de la columna atmosférica quedó reducida al nivel comprendido entre los 853 hPa (1404 m) y los 651 hPa (3553 m). Aun así, debido al flujo del NE en capas medias y altas atmosféricas, se registraron cantidades de precipitación significativas en el sector oriental del Altiplano, destacando los 80.5 l/m² en Pinillos o 52.1 l/m² en Tobarrillas (Yecla). En el resto de la Región de Murcia, las precipitaciones perdieron relevancia e intensidad, aunque en enclaves orográficamente bien expuestos (Sierra de Lavia) se llegaron a registrar hasta 33.2 l/m² durante la primera mitad de la jornada.

Respecto a la precipitación total acumulada durante el episodio, cabe destacar los 300 l/m² registrados al norte de Torre Pacheco (Torre Blanca), sin duda el epicentro del episodio de precipitaciones copiosas y torrenciales que afectó a la Región de Murcia. Con una horquilla entre 250 y 300 l/m² figuran las estaciones meteorológicas del norte del Campo de Cartagena, del sur del Área Metropolitana de Murcia (costera sur de Casrascos: La Alberca y El Palmar) y de Santiago de la Ribera (San Javier) (Figura 4).

Umbrales meteorológicos durante el episodio

AEMET establece para la Región de Murcia los siguientes umbrales y niveles de aviso con respecto a las precipitaciones: Precipitación en 1 hora: 15 mm (aviso amarillo), 30 mm (aviso naranja) y 60 mm (aviso rojo); Precipitación en 12 horas: 60 mm (aviso amarillo), 100 mm (aviso naranja) y 180 mm (aviso rojo). Cabe destacar que AEMET estableció para el sábado 17 y domingo 18 el aviso naranja por precipitaciones en 1 hora y 12 horas en toda la Región excepto en la comarca del Altiplano situada en el extremo noreste de la región. En la tabla 1 se muestran los valores máximos de precipitación máximos alcanzados en 1 hora y en 12 horas en un total de 64 estaciones repartidas por todo el territorio de la Región de Murcia.

Tabla 1 | Número de estaciones meteorológicas (sobre un total de 64) que superaron los umbrales de aviso de precipitación de AEMET en una hora (P1) y en doce horas (P12), durante los días 17 y 18 de diciembre de 2016.

	Aviso Verde		Aviso amarillo		Aviso naranja		Aviso rojo	
	P1	P12	P1	P12	P1	P12	P1	P12
Sábado 17	53	58	10	6	1	0	0	0
Domingo 18	54	35	5	24	5	4	0	1

De estos datos se deduce que el aviso naranja puesto por AEMET para el sábado 17 estuvo sobredimensionado. En cambio, el domingo 18, día en que se produjeron la mayor parte de las pérdidas económicas, sobre todo en la Comarca del Campo de Cartagena, los avisos establecidos sí se corresponden con los registros acumulados en las diferentes estaciones estudiadas, incluso se debería haber activado el aviso rojo en la Comarca del Campo de Cartagena, donde en una estación se superó dicho umbral, concretamente en la estación de Torre Pacheco Torreblanca 191.7 mm en 12 horas. Si se analiza el nivel de daños, con los umbrales de aviso superados, quizás podría ser interesante establecer un umbral de aviso intermedio entre 1 h y 12 h, que podría ser el de 6 horas. Camarasa y Butrón (2016) consideran que en la vertiente mediterránea peninsular se requieren al menos 6 horas de lluvias intensas para producir daños moderados.

Anomalía y cambio de tendencia pluviométrica noviembre-diciembre

Debido al citado episodio, diciembre de 2016 superó en la mayor parte de las series meteorológicas de la Región de Murcia los récords de precipitación mensual para un mes de diciembre. Incluso en algunos observatorios, como el de Murcia ciudad-Alcantarilla, que data del año 1864, el registro de diciembre de 2016 (257.3 mm) es el registro de precipitación mensual más alto registrado en sus 153 años de historia. Las anomalías de precipitación en el mes de diciembre han llegado a superar el 1000% en algunos puntos de los relieves centrales y del prelitoral de la Región de Murcia, con respecto a la media de diciembre durante el periodo de referencia 1981-2010 (Figura 5). Cabe reseñar, que en algunos observatorios la precipitación de diciembre superó la media anual, como en el caso de Torre Pacheco Torreblanca, que registró durante dicho mes 302.7 mm, muy por encima de su media anual (276.4 mm). Por tanto, el registro de precipitación de diciembre de 2016 es totalmente anómalo, más si se tienen en cuenta las tendencias de precipitación mensual de diciembre en la Región de Murcia. En Ruiz-Álvarez (2017) se estima una tendencia

de -0.7 mm/década para el mes de diciembre durante el periodo 1956-2015, lo que hace aún más evidente la excepcionalidad de las precipitaciones de diciembre de 2016. En dicho trabajo, se refleja en cambio una tendencia positiva para noviembre de 2.36 mm/década.

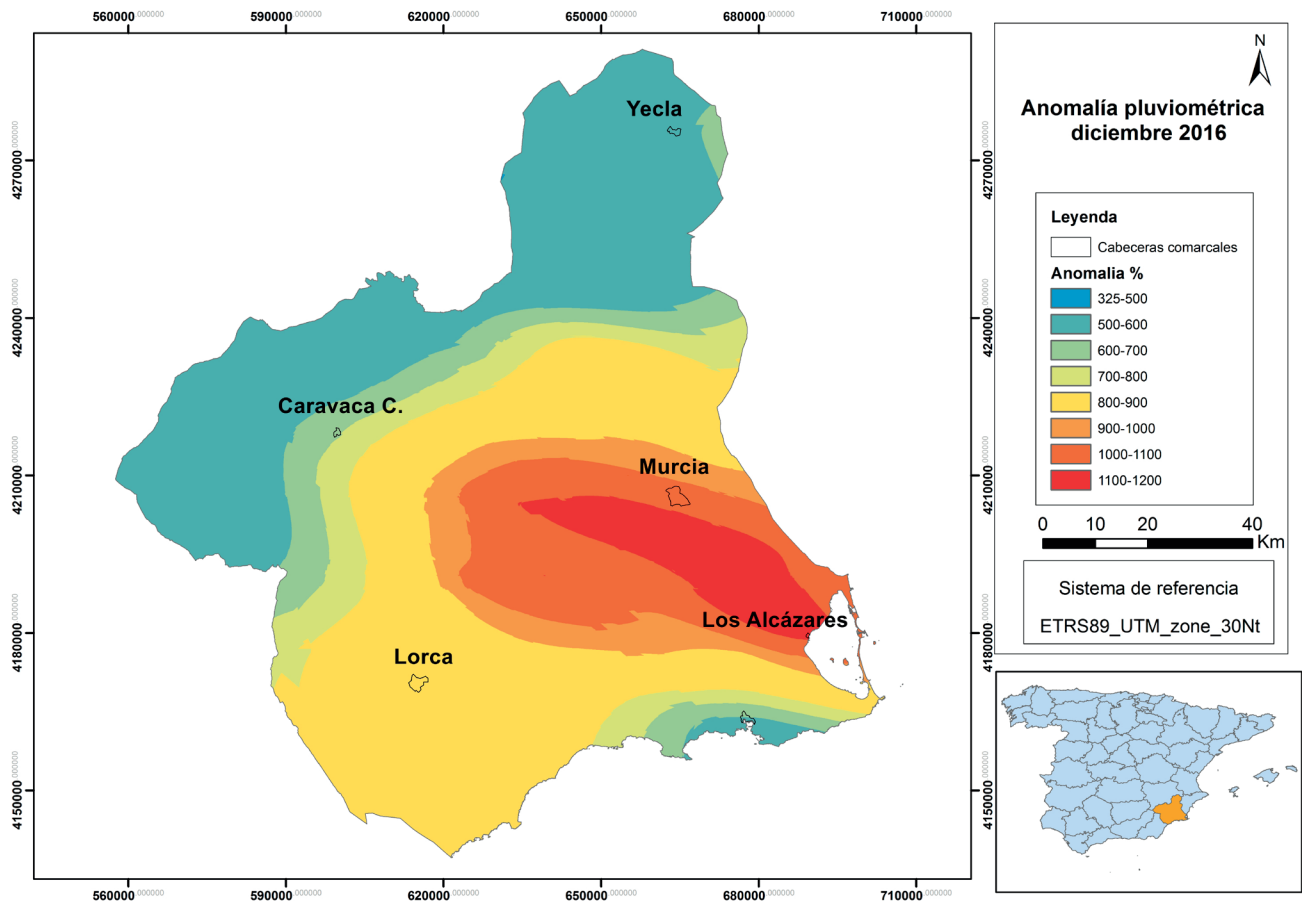


Figura 5 | Anomalía pluviométrica de diciembre 2016, en comparación con el promedio de lluvias de este mes en el período 1981-2010.

Un factor especialmente influyente en el desencadenamiento de este suceso, cuya importancia ha sido ya destacada en diversos estudios sobre episodios de inestabilidad atmosférica en la vertiente mediterránea peninsular (Quereda-Sala *et al.*, 2016), es la configuración del campo térmico marino en el Mediterráneo Occidental. Concretamente, durante la jornada del 16 de diciembre 2016, la boya marítima instalada frente a Cabo de Palos registraba una temperatura de la superficie del mar frente a la costa murciana de 17.2°C , valor anormalmente elevado para el promedio de 16.7°C en el mes de diciembre (2006-2016) (Figura 6). Durante la última década se produjo una tendencia positiva, aunque no significativa, de $1.1^{\circ}\text{C}/\text{década}$, siendo la primera vez que el promedio de temperatura mensual en el mes de diciembre superó los 17°C . Pese al moderado aumento anotado en el mes de noviembre ($0.3^{\circ}\text{C}/\text{década}$), los meses de octubre y enero registraron incrementos particularmente significativos, en torno a $1.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$, lo que corrobora la tendencia creciente del potencial energético de la superficie marina a orillas del litoral mediterráneo durante las situaciones de inestabilidad equinocciales e invernales. El anticiclón fuertemente asentado en el Sureste Peninsular hasta prácticamente la última quincena de noviembre provocó que la temperatura del mar se mantuviera todavía entre 19 y 20°C frente a la costa de las provincias de Alicante y Murcia (2°C más de lo normal), hecho completamente inusual cuando faltaba menos de un mes para el inicio del invierno. Dicha situación hizo posible que el riesgo de formación de una DANA, similar a la que afectó Valencia a finales de noviembre, se prolongara hasta mediados de diciembre (Benito, 2016).

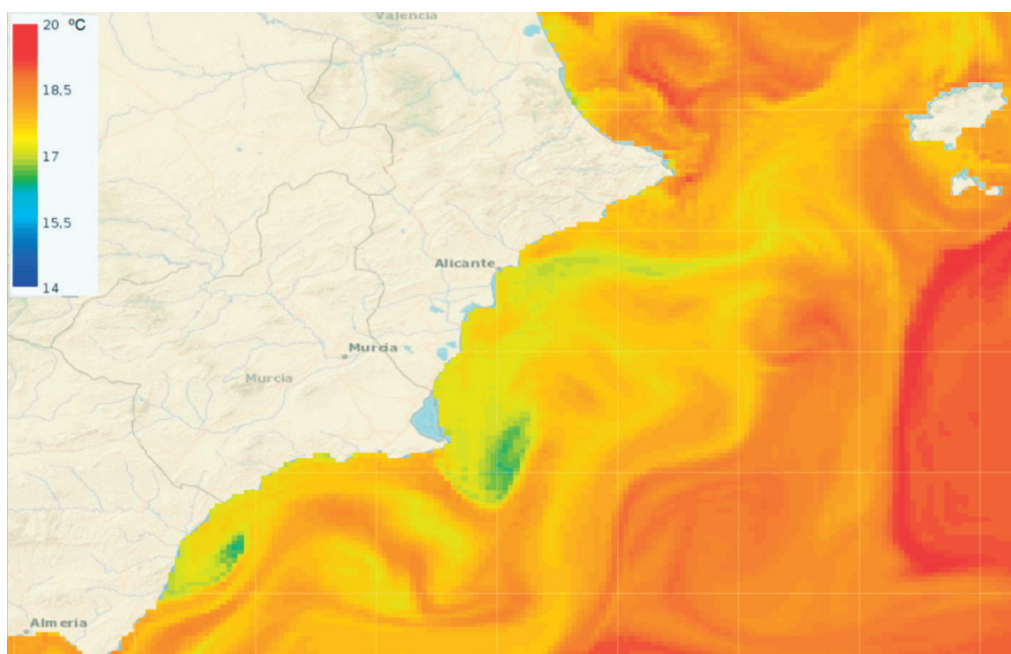


Figura 6 | Temperatura de la superficie del mar (°C) en la jornada del viernes 16 de diciembre 2016 (12:00 h UTC). Fuente: Socib.eu.

Resultados de la modelización hidrológica

Los resultados difieren bastante de un modelo a otro, debido a las peculiares características morfológicas de los cauces y cuencas del área y al tipo de parámetros involucrados en cada modelo. Dada la escasa pendiente general de toda el área vertiente al Mar Menor, la mayoría de las subcuencas tienen pendientes medias suaves o moderadas. Sólo en cuatro de ellas la pendiente media supera el 10% (Tabla 2). Este hecho afecta de forma significativa al cálculo del tiempo de concentración del SCS, que emplea la pendiente de la cuenca en lugar de la pendiente longitudinal del cauce. Además, la condición antecedente de estado seco del suelo que precedió al suceso, y que ha sido introducida en el HU SCS, implica que el tiempo base y el tiempo al pico, estimados por dicho método, sean muy superiores a los calculados por el modelo de Témez (HUT) (Tabla 3). En este último caso, los cálculos de los

Tabla 2 | Parámetros morfológicos de cuencas y cauces, y números de curva (NC) empleados en la confección de hidrogramas unitarios.

Rambla	Subcuenca	Área vertiente (km ²)	Pendiente cuenca (%)	Longitud cauce (km)	Pendiente cauce (%)	P _o (mm)	NC*
Maraña	M1	81.81	5.32	36.95	1.2	26.0	65.8
	M2	28.11	3.24	22.66	0.8	25.3	66.4
	M3	30.54	5.22	16.12	1.5	24.7	66.9
	M4	1.60	2.10	3.05	0.6	42.3	54.2
Albujón	A1	105.40	5.72	25.95	3.4	27.2	64.8
	A2	76.21	12.33	23.65	2.1	25.6	66.1
	A3	51.67	11.96	19.62	2.8	24.4	67.2
	A4	38.19	9.43	15.17	2.3	24.9	66.8
	A5	19.18	6.91	11.18	1.4	28.7	63.6
	A6	37.58	18.11	23.82	3.0	32.8	60.4
	A7	22.17	5.55	22.38	1.3	26.5	65.4
	A8	40.53	13.85	31.59	1.7	28.3	63.9
	A9	16.17	2.34	12.32	0.8	30.5	62.1
	A10	68.99	7.24	30.58	1.7	27.6	64.5
	A11	29.18	2.00	18.76	0.5	37.2	57.4
	A12	54.45	4.85	34.88	1.6	28.5	63.7
	A13	13.79	2.14	12.55	0.4	48.2	50.9
	A14	96.28	5.67	45.54	1.3	26.8	65.1
	A15	0.10	10.56	2.65	0.5	57.6	46.5

* calculado con una condición antecedente de estado seco del suelo.

tiempos característicos del HU vienen determinados por las bajas pendientes de los cauces de rambla (únicamente el tramo alto de la rambla del Albuñón -A1- y la Rambla de Corvera -A6- rebasan el 3% de pendiente). Al comparar los hidrogramas de las ramblas del Albuñón y de la Maraña en sus tramos bajos próximos a la desembocadura, se comprueba que el método de Témez proporciona un caudal pico mayor y un tiempo de generación de escorrentía más rápido que el HU SCS.

Tales diferencias son también ostensibles a nivel de subcuenca. En el caso de los tiempos característicos del hidrograma unitario obtenido por ambos métodos, el contraste entre ellos suele venir impuesto por el grado de pendiente longitudinal del cauce en relación con la pendiente media general de su cuenca. Así, por ejemplo, los tributarios de las subcuencas A11, A12 y A13 de la Rambla del Albuñón, situados en las tierras bajas orientales del Campo de Cartagena, presentan tiempos de concentración calculados por el método HU SCS 2.5 veces superiores a los del HUT, mientras que en las subcuencas con cabecera montañosa (A2, A3, A4, A6 y A8), donde los cauces también tienen pendientes acusadas, la diferencia es inferior a 1 hora. En los casos del tiempo de retardo, el tiempo base y el tiempo al pico estimados por el método HUT, éstos resultan mucho más cortos en los cursos de mayor pendiente media, independientemente de la pendiente general de su área vertiente.

La existencia de un relieve de baja energía, dominado por una extensa llanura litoral, sobre la que se asienta una red de drenaje incierto poco jerarquizada, unido a la persistencia de la etapa seca previa al suceso, hacen del HU SCS un método más apropiado que el del HUT para su aplicación en esta zona. Los resultados obtenidos por dicho modelo muestran, a nivel de subcuenca, valores T_c de 4.6 a 15.9 h para la Rambla de la Maraña y de 2.2 a 18.7 h para la Rambla del Albuñón. En el tramo final de ambas ramblas, en torno a Los Alcázares, el tiempo base del flujo de avenida fue de 2 y 2.3 días respectivamente, el tiempo al pico se estimó en 9.5 y 11.2 h para uno y otro caso, mientras que el caudal punta calculado también por el método SCS superó los 820 m³/s en el caso de la Rambla del Albuñón y los 255 m³/s en la Rambla de la Maraña (Figura 7).

Respecto al caudal específico, las subcuencas de la Maraña presentan, según ambos modelos, valores superiores a las del Albuñón. Los mayores caudales específicos obtenidos a partir de las estimaciones de caudal punta del método HUT corresponden a las subcuencas con cauces de mayor pendiente (afluentes del tramo medio-bajo de la margen izquierda de la cuenca del Albuñón), mientras que con el método HU SCS, éstos se producen en las subcuencas de cabecera de la rambla del Albuñón y en toda la cuenca de la rambla de la Maraña (Figura 8).

Tabla 3 | Tiempos característicos del hidrograma unitario (h) obtenidos para las áreas vertientes en cada confluencia, según los métodos de HU Adimensional del SCS (HU SCS) y el HU de Témez (HUT).

Rambla	Cruce	T_c		tr		tb		T_p		q_p		Q_{esp}	
		SCS	HUT	SCS	HUT	SCS	HUT	SCS	HUT	SCS	HUT	SCS	HUT
Maraña	M1	15.89	10.80	9.54	3.78	48.1	23.2	9.6	3.9	99.0	188.5	1210	2304
	M2	13.56	8.05	8.13	2.82	41.1	17.4	8.2	2.9	54.8	130.2	1949	4631
	M3	8.03	5.51	4.82	1.93	24.5	12.1	4.9	2.0	104.6	198.1	3425	6487
	M4	4.63	1.85	2.78	0.65	14.3	4.4	2.9	0.7	7.7	18.6	1622*	2871*
Albuñón	A1	11.88	6.77	7.13	2.37	36.0	14.7	7.2	2.5	111.8	206.5	1061	1959
	A2	7.25	6.92	4.35	2.42	22.2	15.0	4.4	2.5	127.4	187.7	1672	2463
	A3	6.16	5.68	3.70	1.99	18.9	12.4	3.8	2.1	57.2	95	1259*	2078*
	A4	5.72	4.85	3.43	1.70	17.6	10.7	3.5	1.8	46.7	79.8	1223	2090
	A5	5.68	4.23	3.41	1.48	17.5	9.4	3.5	1.6	25.0	46.3	1219*	1966*
	A6	6.97	6.50	4.18	2.28	21.3	14.2	4.3	2.4	61.1	96.1	1626	2557
	A7	10.55	7.27	6.33	2.54	32.1	15.8	6.4	2.6	30.3	52.6	1205*	1852*
	A8	9.14	8.98	5.49	3.14	27.9	19.3	5.6	3.2	49.7	82.1	1226	2025
	A9	10.96	5.06	6.57	1.77	33.3	11.1	6.7	1.9	15.8	35.8	1168*	1751*
	A10	12.13	8.75	7.28	3.06	36.8	18.9	7.4	3.1	76.6	143.2	1110	2076
	A11	18.72	7.62	11.23	2.67	56.6	16.5	11.3	2.8	31.1	78.1	1105*	1577*
	A12	16.79	9.79	10.08	3.43	50.8	21.1	10.2	3.5	55.3	118.4	1016	2174
	A13	15.42	5.86	9.25	2.05	46.7	12.8	9.3	2.1	22.3	82.8	1079*	1494*
	A14	18.56	12.47	11.14	4.36	56.1	26.7	11.2	4.4	111.3	221.2	1156	2297
	A15	2.24	1.72	1.35	0.60	7.1	4.1	1.4	0.7	0.6	1.1	1064*	1458*

T_c = Tiempo de concentración (h); tr = tiempo de recesión (h); tb = tiempo base (h); T_p = tiempo al pico (h); q_p = caudal pico (m³/s); Q_{esp} = caudal específico (l/s/km²).

* Incluye el caudal y superficies acumulados de las subcuencas aguas arriba.

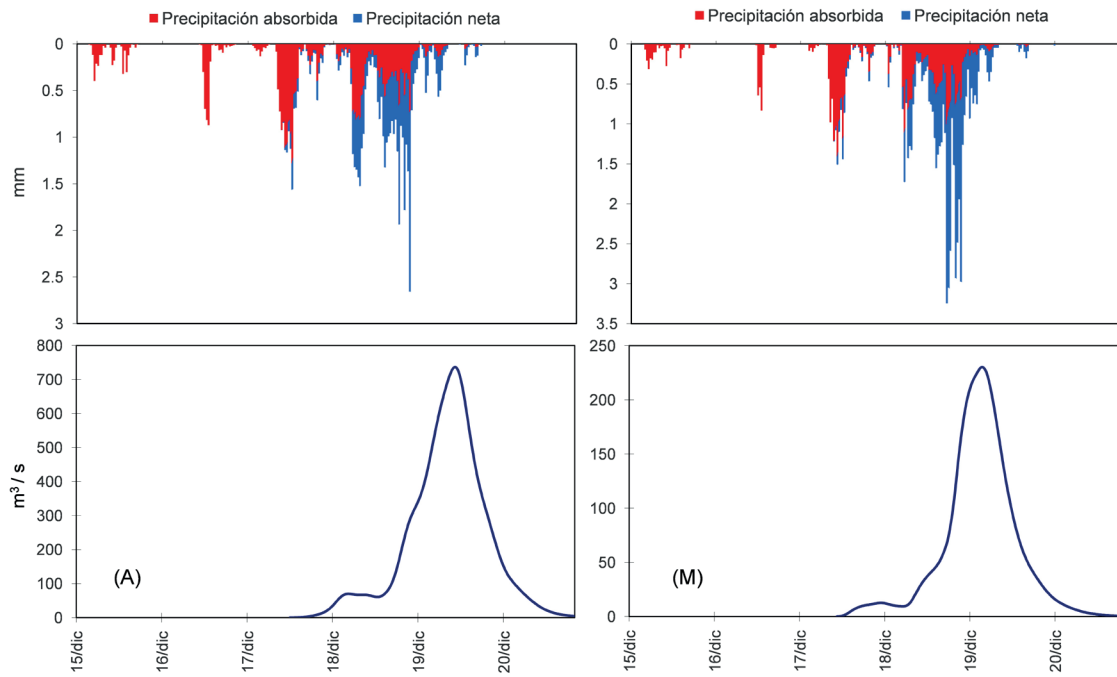


Figura 7 | Hidrogramas obtenidos por el método HU SCS para los puntos de desembocadura de las ramblas del Albuñón (A) y de la Maraña (M).

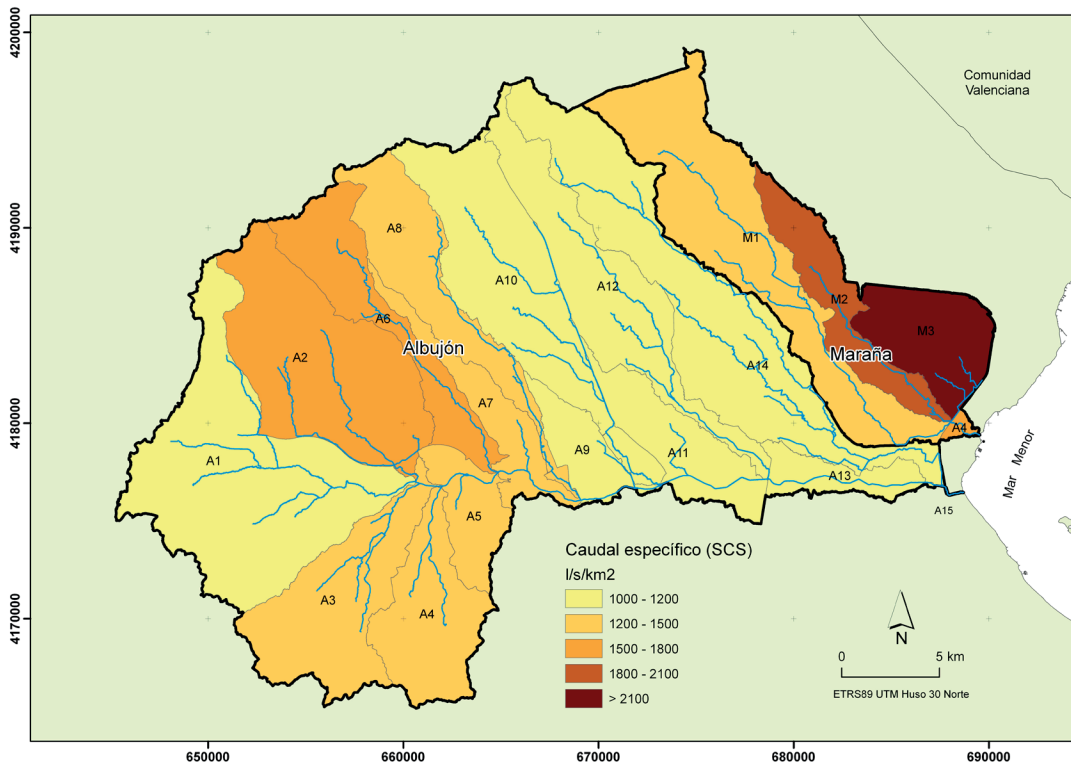


Figura 8 | Caudales máximos específicos estimados para las subcuencas de las ramblas del Albuñón (A) y de la Maraña (M) a partir de sus respectivos caudales pico de avenida obtenidos por el método HU SCS en el episodio lluvioso del 17 y 18 de diciembre, 2016.

CONCLUSIONES

El episodio lluvioso del 17-18 de diciembre de 2016 en la Región de Murcia, como en gran parte del Sureste Peninsular, se caracterizó más por la abundancia y persistencia de las precipitaciones que por alcanzar intensidades excepcionalmente altas. No obstante, la naturaleza de las condiciones sinópticas que acompañaron al suceso, los valores de precipitación máxima en 1 y 12 h, comparados con los umbrales y niveles de aviso de AEMET, la cuantiosa precipitación acumulada en apenas 5 días (15-19 de diciembre) y el carácter de anomalía pluviométrica de diciembre de 2016 en relación con el promedio de dicho mes durante el período 1981-2010, hacen pensar que estamos asistiendo a cambios climáticos significativos a escala regional dentro del ámbito mediterráneo. En el proceso de modelización hidrológica aplicado a este episodio a partir de las condiciones ambientales del área, el método basado en el HU adimensional del SCS parece proporcionar resultados más satisfactorios que el del HU de Témez. El caudal punta estimado por el HU SCS en los tramos finales de las ramblas del Albuñón y de la Maraña ascendió a 820 m³/s y 258 m³/s respectivamente en menos de 25 horas, provocando inundaciones en la zona de Los Alcázares y alrededores. En consecuencia, la caracterización de este suceso, además de engrosar la ya dilatada lista de estudios de episodios pluviométricos extraordinarios, puede aportar información útil y de interés para futuros trabajos orientados al análisis de anomalías climáticas en el ámbito mediterráneo peninsular.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Delegación Territorial de AEMET en Murcia por la cesión de datos meteorológicos de su red de estaciones para la presente investigación.

REFERENCIAS

- Álvarez Rogel, Y., Navarro Hervás, F., Granell Pérez, M.C. 2010. Aproximación al riesgo de inundación en dos diputaciones de la ciudad de Cartagena (Murcia, España). *Papeles de Geografía*, 51-52, 33-43.
- Amblar-Francés P., Ramos-Calzado P., Casado-Calle, M. J., Pastor-Saavedra, M.A., Rodríguez-Camino, E. 2016. Estudio de las proyecciones regionalizadas de cambio climático para las cuencas hidrográficas de España, *XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, Teruel, 29 febrero – 2 marzo 2016, 10 p.
- Amengual, A., Homar, V., Jaume, O. 2015. Potential of a probabilistic hydrometeorological forecasting approach for the 28 September 2012 extreme flash flood in Murcia, Spain. *Atmospheric Research*, 166, 10-23. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.012>
- Benito, F.J. 2016: La alta temperatura del mar prolonga en diciembre el riesgo de gota fría en Alicante, *Diario Información*, 1-12-2016, <http://www.diarioinformacion.com/alicante/2016/11/30/alta-temperatura-mar-prolonga-diciembre/1834290.html>
- 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. *Estudios Geográficos*, 62(242), 7-27. <https://doi.org/10.3989/egeogr.2001.i242.292>
- Camarasa Belmonte, A.M., Butrón, D. 2016. Umbrales de lluvia, daños y niveles de alerta en la Comunidad Valenciana. En *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, Universidad de Alicante.
- Capel Molina, J.J. 1974. Génesis de las inundaciones de Octubre de 1973 en el Sureste de la Península Ibérica. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, 4, 149-166.
- Capel Molina, J.J. 1989. Convección profunda sobre el Mediterráneo español. Lluvias torrenciales en los días 4 al 7 de septiembre de 1989 en Andalucía Oriental, Murcia, Levante, Cataluña y Mallorca. *Paralelo 37°*, 13, 51-79.
- Capel Molina, J.J. 1990. Ciclogénesis violenta en el Mediterráneo. La inundación de Málaga de noviembre de 1989. *Papeles de Geografía*, 16, 9-33.

- CEAM 2007. *Informe sobre las lluvias torrenciales del 11-12 de Octubre de 2007 en la Comunidad Valenciana*. Fundación CEAM, Valencia, Spain.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1994. *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Castejón Porcel, G., Romero Díaz, A. 2014. Inundaciones en la Región de Murcia en los inicios del siglo XXI. *Biblio 3W*, vol. XIX, 1102, 1-40.
- Conesa García, C. 1985. Inundaciones en Lorca (Murcia): riesgo y expectación. *Papeles de Geografía Física*, 10, 33-47.
- 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.
- Conesa García, C., García Lorenzo, R. 2014. Flood hazard assessment for bridge crossings over ephemeral channels: a case study of the Murcia coast (SE Spain). *Cuadernos de investigación Geográfica*, 40, 119-146. <https://doi.org/10.18172/cig.2507>
- Conesa-García, C., García-Lorenzo, R., Pérez-Cutillas, P. 2016. Flood hazards at ford stream crossings on ephemeral channels (south-east coast of Spain). *Hydrological Processes*, 31, 731-749. <https://doi.org/10.1002/hyp.11082>
- CAAMA (Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente) 2008. Proyecto Natmur: <http://www.murcianatural.carm.es/natmur08>
- Ferrer Polo, F.J. 2000. *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX, Madrid.
- García, D., Baquerizo, A., Ortega, M., Herrero, J., Ángel Losada, M. 2013. Probabilistic flood forecasting tool for Andalusia (Spain). Application to September 2012 disaster event in Vera Playa. *In EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15, p. 975.
- García Lorenzo, R., Conesa García, C. 2011. Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas SIG, Estudio aplicado al litoral sur de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía* 53-54, 107-123.
- Genovés, A., Jansá, A. 2003. Diabatic processes contribution to the november 2001 storm. *Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference*, October, Mallorca, Spain.
- Gil Meseguer, E., Pérez Morales, A., Gómez Espín, J.M. 2012. Precipitaciones y avenidas del 28 de Septiembre de 2012 en el cuadrante suroccidental de la cuenca del Segura (Municipios de Lorca, Puerto Lumbreras y Pulpí), *Papeles de Geografía*, 55-56, 75-94.
- Gil Olcina, A. 2016. Causas atmosféricas de dos descomunales llenas en la Rambla de Nogalte (Cuenca del Segura). *Libro Homenaje al Profesor Alfredo Morales Gil*, Universidad de Alicante, 935-956. <https://doi.org/10.14198/LibroHomenajeAlfredoMorales2016-42>
- Homar, V., Romero, R., Ramis, C., Alonso, S. 2002. Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over eastern Spain: analysis of the synoptic-scale stationarity. *Annales Geophysicae*, 20(12), 2047-2066. <https://doi.org/10.5194/angeo-20-2047-2002>
- Hooke, J.M., Mant, J.M. 2000. Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain. *Geomorphology*, 34(3), 163-180. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00005-2)
- Llasat, M.C. 1987. Episodios de lluvias copiosas en Catalunya: génesis, evolución y factores coadyuvantes. Universitat de Barcelona.
- Llasat, M.C., Puigcerver, M. 1994. Meteorological Factors Associated with Floods in the North Eastern Part of the Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 9, pp. 81-93. <https://doi.org/10.1007/BF00662592>
- Llasat, M.C., Ramis, C., Barrantes, J. 1996. The Meteorology of High-Intensity Rainfall Events Over the West Mediterranean Region. *Remote Sensing Reviews*, 14, 51-90. <https://doi.org/10.1080/02757259609532313>

- Llasat, M.C., Barriendos, M., Rigo, T. 2002. L'Analyse de la fréquence et de l'occurrence temporelle des fortes précipitations d'origine méditerranéenne causes des crues rares en Espagne et dans le Sud de la France. *Le Houille Blanche*, 6-7, 139-144. <https://doi.org/10.1051/lhb/2002098>
- Llasat, M.C., Barrera, A., Barriendos, M. 2004. Analysis of climatic conditions associated with historical floods. En: G. Benito & V.R. Thorndycraft (Eds.), *Systematic, Paleoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Methodological Guidelines*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, pp. 85-94.
- López, J.M., Arán, M. 2005. *Estudi d'una ciclogènesi ràpida mediterrània: Catalunya 9-10 de juny del 2000*. Nota técnica del CMT en Cataluña. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spain.
- MOPU 1990: Norma 5.1-I.C., Instrucción de carreteras. Dirección General de Carreteras, MOPU.
- Nanía, L.S., Gómez Valentín, M. 2006: *Ingeniería Hidrológica*. Segunda Edición. Grupo Editorial Universitario. Granada. 280 p.
- Olcina Cantos, J. 1999. Temporales de octubre de 1957 en el levante español. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 4, 129-152.
- Olcina Cantos, J., Rico Amorós, A.M. 2000. Estudios sobre lluvias torrenciales e inundaciones en la provincia de Alicante (1982-1999). *Serie Geográfica*, 9, 71-92
- Oliva, M., López-Bustins, J.A., Barriendos, M., Muedra, C., Martín-Vide, J. 2006. Reconstrucción histórica de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) e inundaciones en el levante peninsular (1500–2000). *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, 5, 241-250.
- Olivares Guillem, A. 2004. Modelización hidrológica pseudo-distribuida del barranco del Carraixet: aplicación al episodio de octubre de 2000. *Cuadernos de Geografía*, 76, 155-182.
- Pascual Aguilar, J.A., Año Vidal, Carlos., Sánchez Diaz, Juan., Masiá Mira, F.J., Arnau Rosalén, E. 2001. Valoración de la idoneidad de Iso Índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. *Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*, 15, 77-84.
- Pérez Morales, A. 2010 valoración del riesgo de inundación en los instrumentos de ordenación del territorio de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía*, 51-52, 235-243.
- Quereda Sala, J., Obiol Manero, E. 1991. Las lluvias torrenciales de septiembre de 1989 en el Mediterráneo español. *Cuadernos de Geografía*, 49, 27-34.
- Ramis, C., Llasat, A., Genovés, A., Jansá 1994. The October 1987 floods in Catalonia: Synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorological Applications*, 1(4), 337-350. <https://doi.org/10.1002/met.5060010404>
- Riesco, J., Mora, M., De Pablo., Rivas, L. 2013. Severe rainfall events over the western Mediterranean Sea: A case study. *Atmospheric Research*, 127, 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.03.001>
- Ruiz Álvarez, V. 2017. Analysis of precipitations trends in the Region of Murcia (Southeast Spain) over the period 1956-2015. *6th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean*, February 20-22, Zagreb, Croacia.
- SCS (Soil Conservation Service) 1972. *National Engineering Handbook*, Section 4. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Senciales, J.M., Ruiz Sinoga, J.D. 2013. Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 61, 7-24.
- Témez, J.R. 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras, MOPU.
- Témez, J.R. 2003. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. *Revista de Obras Públicas*, 3430, 47-51.