



Estudio cronológico de los volúmenes de precipitación en las subcuenca de la rambla de Poyo en el episodio del 29 octubre de 2024

Chronological Study of Precipitation Volumes in the Sub-basins of the Rambla de Poyo during the October 29, 2024 Event

AUTORÍA

Alejandro J. Pérez

Cueva 

Universitat de València, España.

Rafael Armengot

Serrano 

Associació Valenciana de Meteorología
(AVAMET), España.

Ghaleb Fansa Saleh 

Universitat de València, España.

José Ángel Núñez

Mora 

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET),
España.

Adrián Revert Ferrero 

Valencian Association of Meteorology
(AVAMET), España.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.30056>

CITACIÓN

Pérez Cueva, A. J., Armengot Serrano, R., Fansa Saleh, G., Núñez Mora, J. Á., & Revert Ferrero, A. (2025). Estudio cronológico de los volúmenes de precipitación en las subcuenca de la rambla de Poyo en el episodio del 29 octubre de 2024. *Investigaciones Geográficas*, 36(1), 9-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO.30056>

CORRESPONDENCIA

Ghaleb Fansa Saleh (ghaleb.fansa@uv.es)

HISTORIA

Recibido: 14 mayo 2025

Aceptado: 16 julio 2025

Publicado: 23 julio 2025

TÉRMINOS

© 2025 Alejandro J. Pérez Cueva, Rafael Armengot Serrano, Ghaleb Fansa Saleh, José Ángel Núñez Mora, Adrián Revert Ferrero

 Este trabajo se publica bajo una licencia Creative Commons de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Resumen

Se reconstruye la precipitación horaria y se analiza su volumen en las subcuenca de la rambla de Poyo y del barranco de la Saleta. Se aplica una metodología de reconstrucción de retículas de precipitación a partir de la interpolación geoestadística de datos de todas las redes de observatorios existentes. Se calculan valores desagregados de volumen de precipitación a escala temporal horaria y a escala espacial de las principales subcuenca de la rambla. Esta precipitación llega a tener hasta tres fases diferenciadas. Destaca la gran importancia de los aportes de la parte de la cuenca no aforada, en particular los del barranco de Gallego y del barranco de l'Horteta. Estos datos, en su conjunto muestran que se trata de un episodio excepcional en las intensidades horarias, pero no tanto en los volúmenes totales ni en los máximos diarios, si lo comparamos con episodios históricos de toda la provincia de Valencia y del arco N del Mediterráneo occidental, ya que en esta ocasión el temporal estuvo muy focalizado en las cuencas del Poyo y del Magro y un sector del Turia, y no afectó a la zona litoral. La aportación del agua no aforada es importante, en especial, en la segunda fase de riada de la rambla de Poyo, la más crítica. Los volúmenes aportados por la parte no aforada de la rambla en esta segunda fase son equivalentes en magnitud a los aportados por las subcuenca de aguas arriba del único aforo existente.

Palabras clave: volumen de precipitación; precipitaciones extremas; Mediterráneo occidental; precipitación horaria; interpolación pluviométrica; dana; catástrofe de l'Horta Sud; 29 de octubre de 2024; rambla de Poyo.

Abstract

Hourly precipitation is reconstructed and its volume analyzed in the sub-basins of Rambla de Poyo and Barranco de la Saleta. A methodology is applied to reconstruct precipitation grids based on geostatistical interpolation of data from all existing observational networks. Disaggregated precipitation volume values are calculated at an hourly time scale and at the spatial scale of the main drainage sub-basins of the Rambla. This precipitation resulted in up to three distinct phases. Remarkably, the contributions from the ungauged parts of the basin are of great importance, specially those from Barranco de Gallego and Barranc de l'Horteta. Taken together, these data show that this is an

exceptional event in terms of hourly intensities, though not as much in terms of total volumes or daily maxima when compared to historical events across the province of Valencia and the northern sector of the western Mediterranean arc. This is because, in this case, the storm was highly focused in the Poyo and Magro drainage basins and a section of the Turia drainage basin, not affecting the coastal zone. The contribution of ungauged water is significant, especially during the second flood phase of Rambla de Poyo, which was the most critical. The volumes contributed by the ungauged part of the Rambla during this second phase are comparable in magnitude to those contributed by the drainage sub-basins located upstream of the only existing gauge.

Keywords: precipitation volume; extreme precipitation; Western Mediterranean; hourly precipitation; rainfall interpolation; cut-off low (dana); l'Horta Sud disaster; October 29 of 2024; Rambla de Poyo.

1. Introducción

En este trabajo se reconstruye el episodio de lluvias torrenciales de la jornada de 29 de octubre de 2024 en las dos principales ramblas tributarias al sector norte de la cuenca de la Albufera, la rambla de Poyo y la de los barrancos de Possalet y de la Saleta. Las avenidas de estas ramblas ocasionaron graves inundaciones en gran parte de l'Horta Sud, en especial en el piedemonte de la Albufera, pero también en otros sectores del interior de sus cuencas, como en Chiva, Cheste y el Pla de Quart.

El propósito del trabajo es aportar información pluviométrica contrastada y rigurosa que permita valorar, desde éste y otros puntos de vista, el conjunto de procesos desencadenados, de tan graves consecuencias. El objetivo principal reside en generar una información pluviométrica de la máxima calidad posible, ante las numerosas y heterogéneas fuentes disponibles. Pero también se intenta conseguir una reconstrucción minuciosa del episodio pluviométrico en cuanto a la temporalidad y distribución espacial de los volúmenes de agua caídos. Sólo de este modo es posible entender el comportamiento hidrológico del episodio.

La crónica detallada de la temporalidad y espacialidad de los volúmenes de agua puede permitir la formulación de hipótesis de comportamiento hidrológico. Algunas de ellas pueden ser controvertidas, pero su contraste escapa a los objetivos de este trabajo. La principal de estas hipótesis es la de la importancia capital que pudo tener el agua precipitada en las subcuencas no aforadas de la rambla de Poyo, como son el barranco de Gallego y el barranco de l'Horteta, así como la precipitación caída en el conjunto Possalet-Saleta. Se trata de volúmenes equivalentes o incluso más cuantiosos que los caídos aguas arriba del aforo de la rambla de Poyo, que generaron un hidrograma de crecida a partir del cual se han extrapolado los valores del pico de crecida en el abanico aluvial de la rambla. También es la base imprescindible para comprender el comportamiento de las avenidas o estimar los porcentajes de escorrentía. Pero el objetivo del trabajo no radica en entrar en los procesos de conversión lluvia-caudal, sino simplemente en valorar el comportamiento del episodio pluviométrico y cuantificar los volúmenes de precipitación.

El estudio de volúmenes de precipitación de episodios concretos es un enfoque poco utilizado en la climatología valenciana. Se ha aplicado en análisis de períodos secos (Boix et al., 1982) para casos de observatorios puntuales, o para valorar y comparar la precipitación caída en contextos torrenciales (con riesgo) frente a contextos en los que predomina el carácter de recurso hídrico de las lluvias (Armengot & Pérez-Cueva, 1996). Se ha destacado el rasgo de recurso que tienen las lluvias torrenciales valencianas, con sectores en los que más del 60 % de la precipitación cae en temporales con características torrenciales (tomando como umbral de torrenciales la cantidad de 100 mm en 24h).

También se ha utilizado para comparar y valorar la importancia de los grandes temporales de lluvia (Pérez-Cueva & Armengot, 1983), o para contrastar modelos de predicción *ex profeso* (Armengot et al., 2001). También se ha llegado a utilizar como *inputs* de modelos de caja negra en estudios de generación de avenidas, a efectos de estimar los porcentajes de escorrentía de cuencas aforadas de ciertas dimensiones en casos de riadas o episodios pluviométricos extremos (Palanca Galindo, 1999; Morell Cuevas, 2001). Se ha llegado a esbozar una “climatología de la precipitación” en amplios sectores levantinos (Morell Cuevas & Pérez-Cueva, 2000). La Agencia Española de Meteorología (AEMET), en los informes periódicos o de episodios elaborados en su Delegación en la Comunitat Valenciana, suministra evaluaciones de precipitación media de episodios a partir de los cuales es inmediato obtener el volumen total. Aparte de esto, lógicamente, se utiliza en estudios de riadas, como *input* necesario para aplicar los modelos de escorrentía (Camarasa-Belmonte, 1995).

En especial, la falta de estudios de volúmenes caídos en episodios históricos de riadas con un mismo espacio de referencia, hace que no pueda valorarse adecuadamente lo extraordinario de casos como el de la riada de la rambla de Poyo, más allá de intuiciones o hipótesis. En estos casos, la aproximación puntual (el observatorio) es mucho más fácil y utilizada que la espacial (la cuenca o un espacio de referencia). Pero, si no

se utiliza el método estadístico de recurrencias y períodos de retorno de lluvias máximas, basado en valores puntuales de observatorios, para valorar el grado de excepcionalidad del episodio hay que recurrir necesariamente al método histórico, basado en la crónica del suceso, en su percepción y en los efectos causados por la riada (Mateu Bellés, 1983).

Así, del episodio del 29 de octubre de 2024 se puede asegurar que llegó a superar máximos de intensidad horaria en algunos observatorios, como Turís-Masía Calabarra, pero no puede decirse lo mismo del volumen de precipitación caído en 24 horas. Tomando como espacio de referencia la provincia de Valencia, y aplicando la metodología utilizada aquí a los datos de estos episodios históricos, el 19-20 de octubre de 1982 se totalizaron en 24 horas 2.042 hm^3 , frente a 1.412 hm^3 el pasado 29 de octubre de 2024. Probablemente la riada histórica de Sant Carles (Bosch, 1866), del 4 de noviembre de 1864, también superó en volumen a la de 2024. Por contra, el episodio del 13-14 de octubre de 1957, que dio lugar a la riada del Turia, fue semejante en volumen en la provincia, al totalizar 1.414 hm^3 .

Estos episodios no son excepcionales en el arco norte del Mediterráneo occidental, si tomamos como elemento de comparación la precipitación total diaria máxima. Uno de los episodios más extremos es el Aigüat de Sant Lluch, del 16 al 20 de octubre de 1940, que el día 17 descargó alrededor de 1.000 mm en Sant Llorenç de Cerdans (Becat & Soutadé, 1993). Más contrastados y rigurosos son los valores citados por Rivrain (1999) en Córcega: 906 mm en el Col de Bawella y 701 en Torre Vescovato, desde la noche del 31 de octubre al 1 de noviembre. También son destacables las precipitaciones máximas del episodio de la región de Génova del 7-8 de octubre de 1970, con más de 900 mm en Bolzaneto, Vallereggia (Guigo, 1973). El episodio del Bajo Vallés del 25 de septiembre de 1962, la mayor catástrofe en número de víctimas mortales y desaparecidas, registró un máximo diario únicamente de 250 mm, en Martorelles (Tomás Quevedo, 1963; Llasat, 1987). En un episodio muy reciente, Cassola et al. (2023) citan una cantidad de 740,6 mm en 12 h y 884 mm en 24 h, en Rossiglione (Liguria, Italia).

1.1. El episodio de lluvias torrenciales de 29 de octubre de 2024

Este estudio exige analizar previamente el episodio de precipitaciones torrenciales, no tanto los factores meteorológicos de tipo dinámico, como los ligados al agua precipitable y al propio comportamiento espacial y temporal de la precipitación.

El episodio de lluvias del 29 de octubre de 2024 se ajustó temporalmente de un modo casi perfecto a ese día. En la provincia de Valencia, el comienzo de la precipitación tuvo lugar sobre las 03 horas en el interior sur de la provincia y cesó casi completamente a las 24 horas. Los primeros rayos del día se registraron poco después de las tres de la madrugada, afectando a zonas próximas a la Muela de Cortes, y el primer tren convectivo se formó alrededor de las cinco de la madrugada. Entre las 5 y las 7 horas de la madrugada, la intensidad ya era torrencial, con acumulados en una hora de 62,2 l/m^2 en Pinet y 79,2 en Millares. Las máximas intensidades tuvieron lugar a primeras horas de la tarde, a caballo entre las cuencas del río Magro y la cuenca de la rambla de Poyo. Estas precipitaciones fueron desplazándose a lo largo del día de SE a NW, de modo que afectaron primero a la cuenca baja del Magro, con posterioridad al sector citado de máximas intensidades, y finalmente a la cuenca media del Turia. En el alto Magro las precipitaciones tuvieron una máxima intensidad entre las 12 y las 16 horas. Esto generó riadas en el abanico aluvial del Magro (l'Alcúdia), en el altiplano de Utiel-Requena, en las cuencas del río de Buñol y en el sector del Turia aguas abajo del Río Reatillo. Pero la principal de estas avenidas fue la que afectó a l'Horta Sud. Las lluvias intensas finalizaron en torno a medianoche.

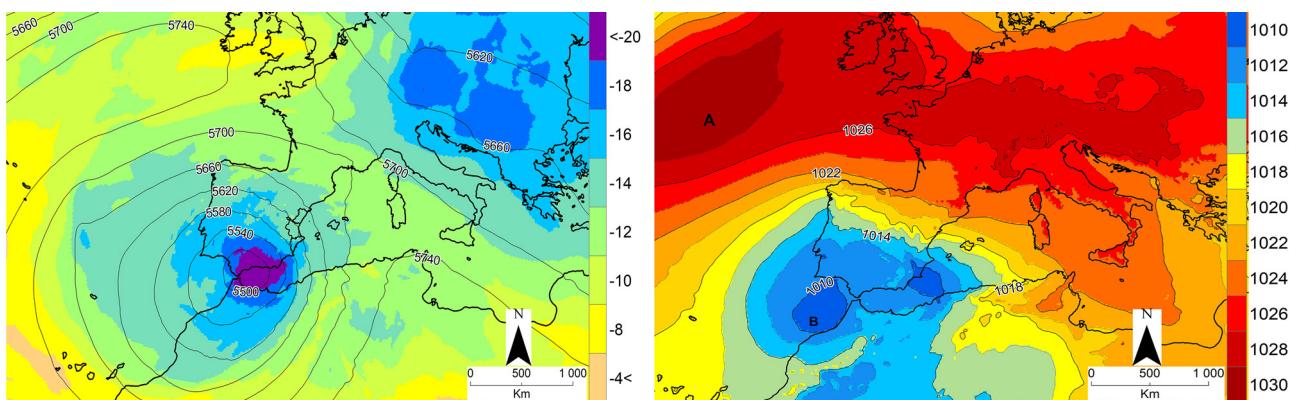
1.1.1. El contexto sinóptico de las precipitaciones

Los días previos a las lluvias torrenciales, una dana se fue descolgando de la circulación general de norte a sur hasta quedar situado su centro en la zona de Gibraltar el día 29. Presentó una temperatura inferior a -22 °C en 500 hPa y gran forzamiento dinámico sobre el este de la Península (Figura 1, izquierda). En superficie, una cadena de altas presiones de bloqueo se extendía desde el suroeste de Irlanda, penetrando por el continente hasta Europa central. Este fue el mecanismo de transporte de la masa de aire cálido y húmedo por el flanco sur del anticiclón. En su recorrido final, el flujo de viento se intensificó, impulsado por la borrasca que se formó en la zona del golfo de Cádiz, en fase con el centro de la dana, por lo que, a partir de ese momento, técnicamente sería una borrasca fría aislada. Además, se formó una baja secundaria de origen mesoescalar a sotavento de la cordillera del Atlas, en el entorno del cabo de Palos (Figura 1, derecha).

En capas bajas, un intenso chorro de viento conducía los sistemas nubosos hacia las montañas litorales y prelitorales de la provincia de Valencia, con ascensos forzados que se sumaban a la flotabilidad positiva en un ambiente inestable previo, produciéndose intensas convergencias de viento y de humedad.

Se trata, pues, de un modelo clásico de contexto sinóptico y mesoscalar, según se desprende de estudios de los mecanismos de estas situaciones atmosféricas tan inestables, como los de Rivrain (1999), Riesco y Alcover (2003), o Martín-Vide et al. (2021).

Figura 1. Temperatura y geopotencial en la superficie de 500 hPa (izquierda) y presión media reducida al nivel del mar (derecha) el 29 de octubre de 2024 a las 18 UTC



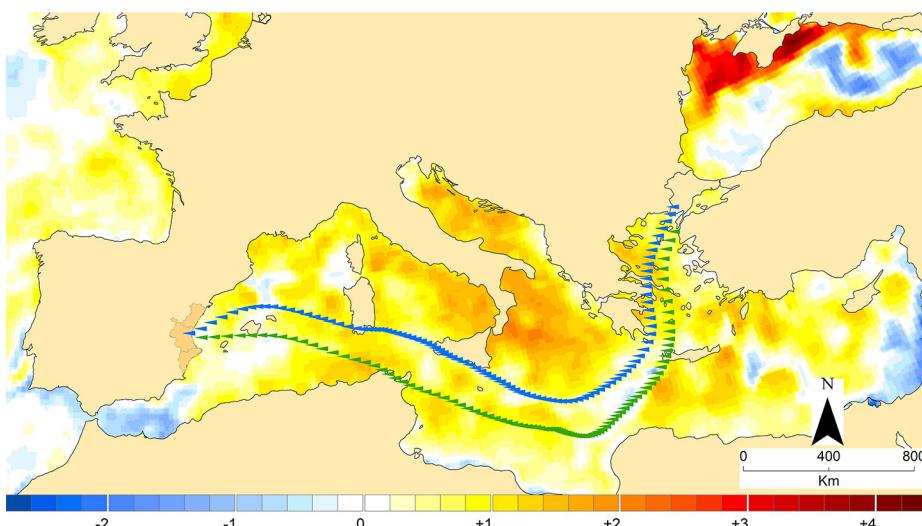
Fuente: datos del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S). Elaboración propia

1.1.2. El agua precipitable

Un elemento importante para que se produzcan precipitaciones muy intensas en el área mediterránea, con cantidades totales superiores a 200 mm/día, es la presencia de una advección cálido-húmeda en los niveles inferiores de la atmósfera. Cuanto mayor sea dicha advección, más favorable es para que se produzcan lluvias torrenciales, siempre que el estrato bajo siga siendo inestable térmicamente y presente un alto grado de saturación. Así, en situaciones de advección marítimo-mediterránea, es importante la estimación de la humedad relativa en el estrato teórico más bajo, entre superficie y 850 hPa (Riesco & Alcover, 2003). Posteriormente se debe estimar el grado de conexión entre la inestabilidad en capas bajas y el frío en niveles medios, en 500 hPa, teniendo en cuenta que lo fundamental es la inestabilidad en los niveles inferiores.

Por ello, el reanálisis de retrotrayectorias de la masa aire que llegó a Valencia el día 29 a mediodía por debajo de 850 hPa (aproximadamente 1.500 m) es un ingrediente que explica las características térmicas y de humedad de la masa de aire incidente. Según estos reanálisis, la masa de aire había recorrido todo el Mediterráneo en los cuatro días previos, desde el mar Egeo hasta la costa mediterránea peninsular. En su recorrido, el aire fue deslizándose por zonas marítimas con anomalías de temperatura de hasta +2 °C (Figura 2).

Figura 2. Anomalía de temperatura de la superficie del mar el día 28 de octubre de 2024 a las 12 horas respecto al promedio del periodo 1991-2020, y retrotrayectorias del aire en los 4 días previos, finalizando a las 12 horas del día 29 de octubre de 2024

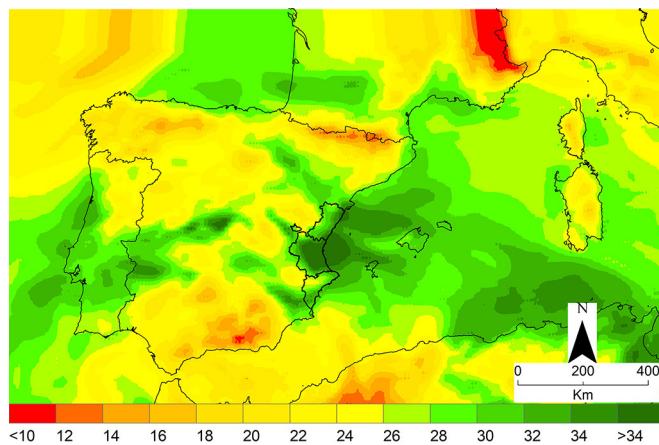


Trazado azul: retrotrayectoria a 500 m de altitud. Trazado verde: retrotrayectoria a 1.500 m de altitud.

Fuentes: datos del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) para el cálculo de la anomalía de la temperatura superficial del mar; y NOAA Hysplit para el cálculo de retrotrayectorias. Elaboración propia

Además de recalentarse al deslizarse por zonas del Mediterráneo anormalmente cálidas, el aire se fue cargando de humedad hasta llegar saturado al territorio valenciano en un estrato profundo de la troposfera, desde superficie hasta 9 km de altitud. Los valores de agua total en la columna atmosférica superaron los 35 mm (Figura 3).

Figura 3. Agua total en la columna atmosférica, en milímetros, el 29 de octubre de 2024 a las 18 UTC

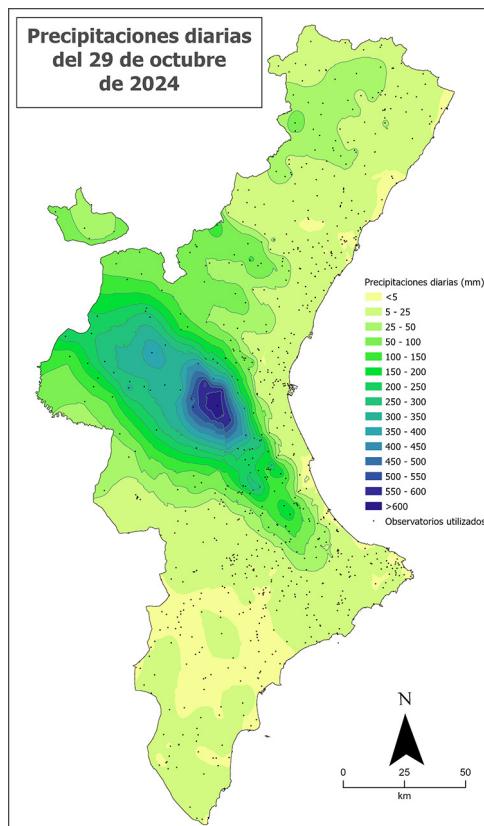


Fuente: datos del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S). Elaboración propia

1.1.3. La precipitación total

Con estos contextos sinópticos y de agua precipitable, las precipitaciones totales diarias tuvieron un carácter extraordinario. A escala de la Comunitat Valenciana se registró precipitación en todo el territorio, aunque los núcleos en que se acercaron o superaron 100 l/m² fueron únicamente las montañas del interior de Castellón, las sierras ibéricas centrales (Espadán y Javalambre-Calderona) y, con gran diferencia, el eje de precipitaciones central, desde el interior de la Safor hasta el altiplano Requena-Utiel, que se prolongó hasta Cuenca (Figura 4).

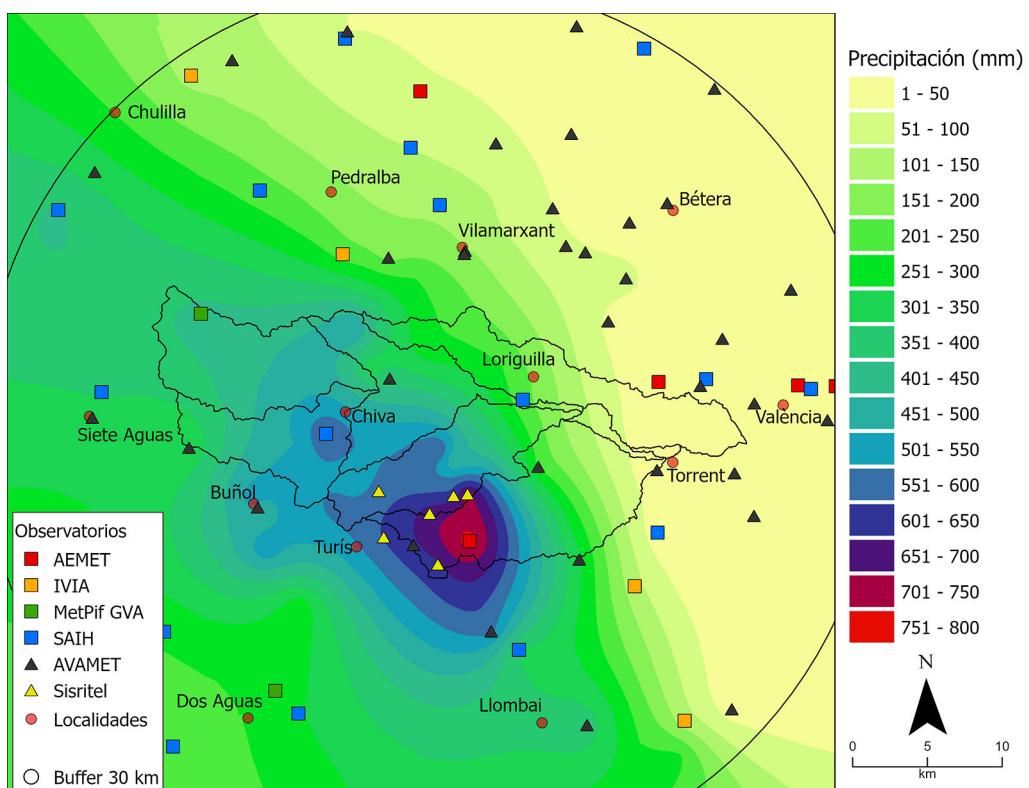
Figura 4. Precipitación total del episodio en la Comunitat Valenciana



Fuente: Associació Valenciana de Meteorología (AVAMET). Elaboración propia

En la zona estudiada, las precipitaciones se localizan en las cabeceras de las diferentes subcuencas que conforman la rambla de Poyo (Figura 5). Los máximos se localizan en las cabeceras de los barrancos de l'Horteta y de Gallego, y en la divisoria hidrográfica con la cuenca del río Magro. Es destacable el frente pluviométrico del noreste de esta franja de lluvias, con fuertes gradientes entre los escasos milímetros que se recogieron en la llanura litoral y cantidades cercanas a 800 mm en el lugar de máximos. La distancia entre el observatorio de Turís-Masía Calabarra (771,8 mm) y Torrent-CEIP Antonio Machado (6,1 mm) es de 13,4 km en línea recta. Esta localización de los valores máximos, junto con su elevada cantidad, hizo que la cuenca de la rambla de Poyo generase la riada con mayores picos de crecida y la más catastrófica.

Figura 5. Precipitación total del episodio en el área estudiada



Fuente: datos de precipitación de observatorios de AEMET, AVAMET, SAIH-CHJ, IIVIA, MetPif GVA y SISRITEL. Elaboración propia

2. Metodología

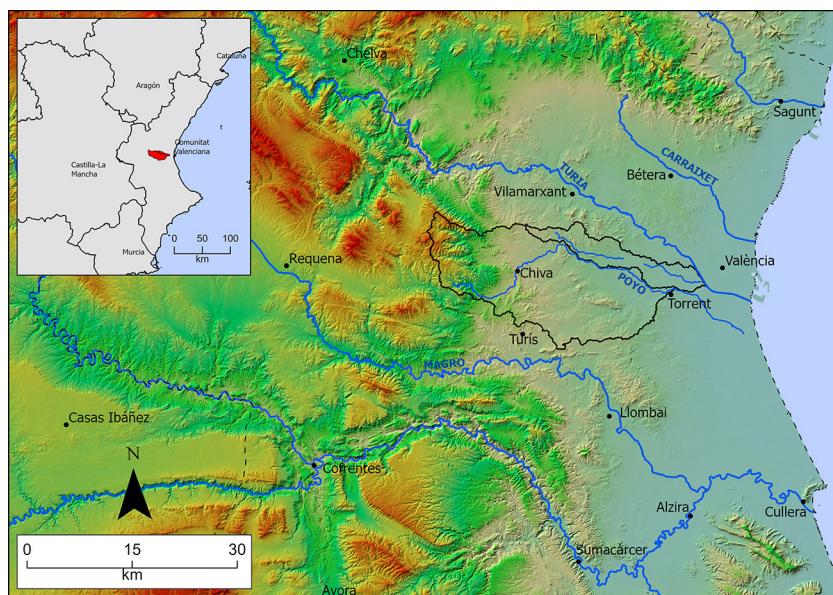
La metodología utilizada exige describir el área de estudio, en este caso las cuencas de la rambla de Poyo y barranco de la Saleta, en particular sus características topográficas, litológicas y usos del suelo. Estos son los principales factores de la conversión lluvia-caudal y del comportamiento de las riadas. En sentido estricto, la metodología se ha centrado en el análisis crítico de las fuentes de datos pluviométricos de los observatorios y en la elección del método geoestadístico de interpolación más adecuado para obtener las retículas de precipitación. Una vez precisada el área y sectores de análisis, así como el método de cálculo de los volúmenes de precipitación, el proceso de cálculo y obtención de resultados es sencillo.

2.1. Área de estudio

Las cuencas de la rambla de Poyo y del conjunto Possalet-Saleta se extienden en el prelitoral valenciano, en el centro de la provincia, al sur del río Turia. Al igual que la del barranco de Carraixet, apenas penetran en la orla montañosa, que, en el caso de la cabecera de la rambla de Poyo, está retranqueada hacia el interior unos 30 km. Son espacios hidrográficos pequeños, intercalados entre las cuencas de grandes ríos, en este caso entre el Turia y el Júcar (Figura 6).

En sus tramos finales tienen abanicos aluviales que contribuyen a formar la orla llana del litoral. Algunos de estos abanicos llegan a ser prominentes y llegan al mar, como los de los grandes ríos, pero en el caso de Poyo y de la Saleta desaguan en la Albufera.

Figura 6. Localización del área de estudio y contexto topográfico

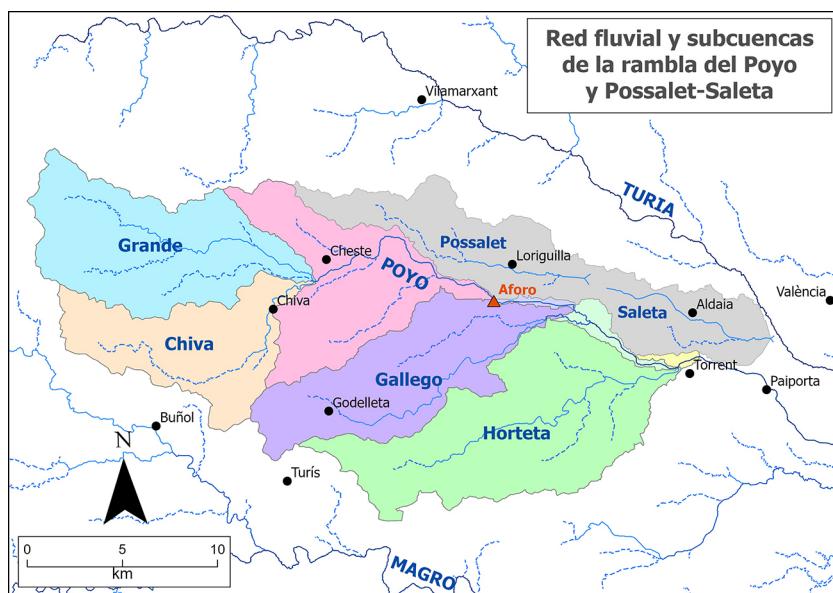


Fuente: datos del ICV (Institut Cartogràfic Valencià). Elaboración propia

2.1.1. Las cuencas

La estructura hidrográfica de la rambla de Poyo consta de dos subcuenas de cabecera que arrancan desde las montañas y confluyen justo antes de Cheste (Figura 7). La rambla de Chiva y la rambla Grande, tienen unas dimensiones parecidas, 52 km² la primera y 72,5 km² la segunda. Tras este punto, la rambla recoge pequeños tributarios de ambas márgenes y, hasta la confluencia con el barranco de Gallego, tiene otra subcuenca semejante en extensión (58,6 km²). En el tramo final de este tercer espacio hidrográfico el cauce se sitúa justo al lado de la divisoria de aguas con la cuenca del barranco de Possalet, de modo que sólo recibe aportes por su margen derecha. Estos llegan de otras dos grandes subcuenas, las de los barrancos de Gallego y de l'Horteta. La cuenca del primero tiene una extensión de 64,5 km², mientras que la superficie de la cuenca de Horteta, la de mayor extensión de todas las subcuenas básicas, es de 95,6 km². Por su parte, el conjunto formado por el barranco de Possalet y el de la Saleta es de 74,6 km². Estos barrancos están conectados hidrográficamente, pues los derrames de Possalet en el Pla de Quart son recogidos enseguida por Saleta. No se ha considerado la parte de la cuenca de la rambla de Poyo a partir del punto apical, lugar en el que se pasa de un flujo concentrado en el valle a su dispersión en la convexidad del abanico aluvial.

Figura 7. Subcuenas de la rambla de Poyo y el barranco de la Saleta



Elaboración propia

Solo los caudales de las tres subcuencas básicas de cabecera (Grande, Chiva y Poyo-medio) pueden registrarse en el aforo principal de la cuenca. Este está situado en el Pla de Quart, cuando el cauce de la rambla de Poyo acaba de pasar por debajo de la autovía AP-3. Entre estas tres subcuencas de cabecera suman 183 km². Poco después, a 4,7 km del aforo, se produce la confluencia Poyo-Gallego. Posteriormente, en Torrent, tras otros 7,4 km, el cauce principal confluye con el barranco de l'Horteta. La parte de cuenca aguas abajo del aforo supone 168 km², por la suma de estas dos grandes subcuencas y de los pequeños espacios de interfluvio inmediatos a la rambla de Poyo (8,5 km²). En la práctica, esto supone que hay tres espacios hidrológicos con funcionamiento independiente: La cabecera de la rambla hasta el aforo y las subcuencas de Gallego y Horteta. Entre los tres suman el 97,6 % de la superficie de toda la cuenca hasta el punto apical, situado entre Torrent y Picanya. El aporte más alejado, el de la cuenca alta hasta el aforo, se produce a 13,4 km de distancia del punto apical, el del barranco de Gallego a 8,7 km y el último aporte, a 1,3 km de este punto.

2.1.2. Geología

Las cuencas hidrográficas de Poyo y Saleta están ubicadas casi al 100 % en la gran cuenca neógena valenciana. Esta se formó en un contexto de hundimiento tectónico del litoral mediterráneo, generado por el proceso de *riifting* europeo desde mediados del Mioceno (Alvarez-de-Buergo & Meléndez-Hevia, 1994; Doglioni et al., 1997; Ayala et al., 2015). Localmente este *riifting* genera una costa ovalada, el Golfo de Valencia, a partir de escalones tectónicos paralelos a la costa. En la cuenca neógena valenciana estos escalones tectónicos se retranquean hacia el interior, de modo que los relieves montañosos más elevados se alejan de la costa. La cabecera de la rambla de Poyo arranca ya en estas montañas interiores, lo que permite que la cuenca tenga una cierta dimensión hasta que se abre al abanico aluvial de la llanura (351,5 km²). Esta superficie es similar a la del Carraixet, la otra gran cuenca de la depresión neógena. Tiene un desnivel considerable, de unos de 1.050 m s.n.m. entre la Loma del Cuco y la Albufera, y unas pendientes acusadas. Son características que le permiten tener unos caudales voluminosos y una respuesta hidrológica rápida (Camarasa-Belmonte, 1995).

La cabecera de la rambla de Poyo se instala en las montañas de calizas jurásicas, en su mayor medida del Lías y Dogger, que se extienden entre Pedralba y Chiva (Muelas et al., 1982). Aproximadamente la mitad superior de sus cuencas, sobre todo la del barranco Grande, se labra en estas calizas, mientras que la parte baja lo hace en la cuenca neógena.

Este sector hundido forma parte de la gran llanura valenciana. La base del relleno son conglomerados y arcillas del Mioceno, recubiertos por materiales de litologías semejantes del Plioceno y por costras calcáreas del Pleistoceno antiguo y otros materiales cuaternarios más recientes (García-Vélez et al., 1980). Son depósitos detríticos continentales, predominantemente de origen fluvial y tanto más arcillosos cuanto más superiores y distales estén situados en la serie sedimentaria. La erosión de estos materiales durante el Pliocuaternario ha dado lugar a los abanicos aluviales costeros, pero también ha generado procesos sedimentarios en el interior. El más importante de ellos es un abanico aluvial conjunto de la rambla de Poyo y del barranco de Possalet en el Pla de Quart. Es una zona interior de derrames, drenaje impreciso y divergencia de aguas, de modo que, en las grandes riadas, el agua de Poyo puede saltar al norte del abanico, juntarse con las de Possalet y pasar a la cabecera del barranco de la Saleta.

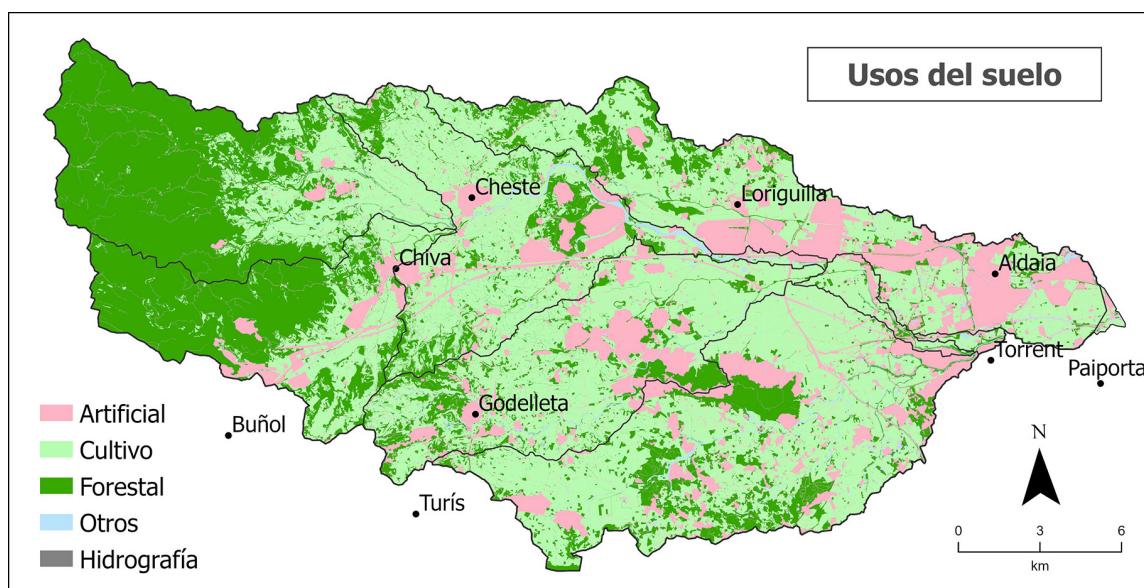
Dentro del bloque hundido con relleno neógeno emergen relieves aislados, el más importante de los cuales es la sierra Perenxisa, un bloque alargado de calizas cretácicas del Santoniense.

2.1.3. Los usos del suelo

Estas características geológicas generales condicionan los usos del suelo, que son casi exclusivamente forestales en las cabeceras de la cuenca y con predominio de usos agrícolas en la parte media y baja (Figura 8). La antropización es cada vez mayor hacia la parte baja de la cuenca, pero los usos artificiales están presentes en todas las subcuencas, por poblaciones, residencias secundarias, una densa red de comunicaciones, y usos industriales y deportivos.

El análisis de usos del suelo por subcuencas muestra claras diferencias entre ellas (Tabla 1). Por una parte, las cuencas de cabecera presentan un predominio de usos forestales (entre el 60 % y el 70 %), una cierta presencia de usos agrícolas en sus partes bajas (25 %-27 %) y modestos porcentajes de usos artificiales. Los valores de estos últimos son mínimos en el caso de la cuenca del barranco Grande, lo que redunda en una mayor presencia de usos forestales. Es la cuenca con menor impacto antrópico.

Figura 8. Usos del suelo en las cuencas de la rambla de Poyo y el barranco de la Saleta



Fuente: datos del COSCV 2024 (Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana). Elaboración propia

Tabla 1. Porcentajes de usos del suelo en diferentes subcuenas de la rambla de Poyo y el barranco de la Saleta

Tipo de uso	Chiva	Grande	Poyo medio	Gallego	Horteta	Possalet-Saleta	Total Cuenca
Artificial	9,1	3,5	20,6	21,6	20,3	33,0	18,9
Cultivo	27,3	25,2	58,1	58,8	58,8	50,0	47,5
Forestal	61,1	70,9	19,1	18,4	19,0	15,7	32,2
Otros	0,3	0,4	2,2	1,2	1,8	1,3	1,3

Fuente: datos del COSCV 2024 (Cartografía de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana). Elaboración propia

Por otra parte, están las cuencas de Gallego y l'Horteta y la cuenca media del Poyo, desde la confluencia en Cheste de los barrancos Grande y Chiva hasta la confluencia con el barranco de Gallego. Estas tres subcuenas presentan porcentajes casi idénticos de usos del suelo. Cerca de un 20 % son usos forestales, por la presencia de relieves aislados, sobre todo la sierra Perenxisa, y un claro predominio de usos agrícolas, con valores cercanos al 60 %, así como valores de usos artificiales algo superiores al 20%. La gran similitud de estos porcentajes en cuanto a usos del suelo y también de otras características, como las topográficas y litológicas, hace presuponer que su comportamiento hidrológico es parecido. Finalmente, la cuenca de Posselet-Saleta presenta valores intermedios entre los dos grupos descritos, pero más cercanos a los de la parte media y baja. El mayor peso de usos del suelo artificiales es debido al efecto de los polígonos industriales, centros comerciales y la alta densidad de vías de comunicación de la parte oriental (Saleta), mientras que la parte alta (Posselet) es mucho más agrícola.

2.2. Fuentes

Para la elaboración del presente estudio se han analizado los datos de 112 estaciones meteorológicas automáticas: 26 situadas en las cuencas investigadas y 86 situadas en los alrededores, dentro de un buffer de 30 km desde el centroide del espacio considerado. También se ha tenido en cuenta, como posible fuente de información pluviométrica, de carácter no puntual, los datos de estimación de precipitación del radar de AEMET de Cullera. Las redes de datos de observatorios utilizadas han sido AVAMET (Associació Valenciana de Meteorología), AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), SAIH-CHJ (Sistema Automático de Información Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar), SISRITEL (Sistema de Riego Telemático, una empresa de control e información de riegos), IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) y MetPif GVA (Red de información meteorológica para la prevención de incendios forestales de la Generalitat Valenciana).

Para el cálculo de las cuencas hidrográficas y en la reconstrucción de la red de drenaje topográfica se ha utilizado un MDT (Modelo Digital de Terreno) de 5 m de resolución.

2.2.1. El radar

Para mejorar la representación espacial de la precipitación y suplir las carencias derivadas de las interpolaciones realizadas con un número limitado de observaciones dentro de una distribución compleja de la precipitación, se ha explorado la posibilidad de utilizar el campo de precipitación estimada en base a datos radar. Este es un campo continuo que se puede utilizar como deriva externa a la hora de hacer la interpolación (Collier, 2002).

El método ha consistido en obtener el producto de estimación de precipitación en 6 horas del radar de Valencia (15 a 21 hora oficial del 29 de octubre de 2024), que fue cuando se registró el máximo de precipitación, superponer los datos de observación de las estaciones meteorológicas con registros horarios, y extraer el dato de precipitación estimada de cada observatorio. Con esos datos, se ha construido un modelo de regresión entre la precipitación registrada y la estimada por el radar (Tabla 2). El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo ajustado explica el 9,6 % de la variabilidad, y el coeficiente de correlación es igual a 0,31, lo que indica una relación débil entre las variables precipitación registrada y estimada.

Tabla 2. Comparación entre la precipitación registrada y la estimada en 6 horas (de 15 a 21 horas oficiales) por el radar de Valencia el día 29 de octubre de 2024

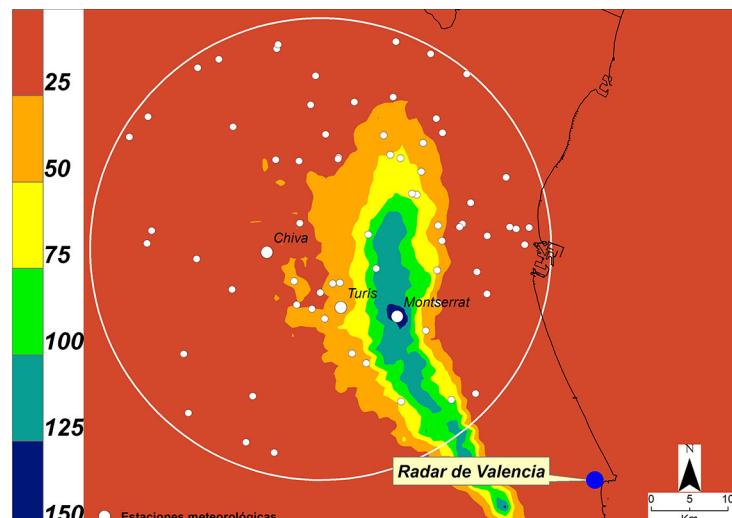
Estación	Precipitación registrada	Precipitación estimada (radar)
Turís	615,2 l/m ²	42,0 l/m ²
Chiva	421,0 l/m ²	15,7 l/m ²
Montserrat	289,2 l/m ²	134,5 l/m ²

Fuente: datos de AEMET (Agencia Española de Meteorología). Elaboración propia

El problema estriba en que, cuando hay gran intensidad de precipitación, como la que se produjo el día 29 de octubre, se origina una importante atenuación de la señal en el proceso de cálculo de las reflectividades del radar. Esto no implica que el radar tuviese un funcionamiento anómalo, sino que la hipótesis de trabajo, que parte de la suposición de que los blancos meteorológicos absorben una fracción muy pequeña de la energía electromagnética del radar, no se puede dar por válida cuando hay intensidades de precipitación tan extremas como las que se produjeron este día.

Esta limitación en el uso de los datos radar se aprecia en la imagen de precipitación acumulada en seis horas estimada por el radar de Valencia (entre las 15 y las 21 hora oficial) (Figura 9). En la imagen se han superpuesto los observatorios con datos horarios que se han empleado en este artículo (puntos blancos) y se han resaltado los observatorios de Montserrat (Casadalt), Turís (Masía de Calabarra) y Chiva. Se observa un máximo de precipitación acumulada estimada en una línea que uniría imaginariamente Algemesí, Alginet, Montserrat y Loriguilla, con una gran atenuación de la señal hacia el oeste. Esta atenuación no es lineal, y es tanto más importante cuanto más nos alejamos de la antena del radar.

Figura 9. Precipitación estimada por el radar de Valencia entre las 15 y 21 horas oficiales del 29 de octubre de 2024



Fuente: datos de AEMET (Agencia Española de Meteorología). Elaboración propia

Como conclusión, del modelo conceptual de atenuación de la señal radar y de los resultados del modelo de regresión ajustado no es viable realizar una interpolación de los datos registrados tomando como deriva externa la estimación de precipitación radar. Sin embargo, con la nueva generación de radares meteorológicos de polarización dual que está instalando la Agencia Estatal de Meteorología, y con las técnicas avanzadas de procesamiento de la señal que ofrece este tipo de radares, sería posible obtener un campo continuo de la precipitación más realista espacial y temporalmente.

2.2.2. Observatorios pluviométricos

Dada la imposibilidad de utilizar las estimaciones pluviométricas del radar, se ha tenido que recurrir exclusivamente a las mediciones de las estaciones meteorológicas (Figura 5). Todas las estaciones utilizadas son automáticas. A pesar de la existencia de estaciones manuales homologadas que, normalmente, sirven para corroborar la precipitación registrada, estas no han podido ser utilizadas por la gran intensidad y volumen de precipitación del evento, ya que la mayoría de los pluviómetros manuales de las zonas más afectadas por las lluvias se desbordaron. Por ello, no se ha podido contrastar la veracidad de los datos de las estaciones automáticas.

2.3. Metodología de cálculo de volúmenes

2.3.1. Selección de los observatorios a usar

En el caso de observatorios para el cálculo del total diario, se han seleccionado todos los que se encuentran a menos de 30 km del centroide (promedio geométrico) de las cuencas estudiadas (Poyo y Possalet-Saleta). Son 112 estaciones (Tabla 3).

En cuanto a los observatorios para el cálculo de las precipitaciones horarias se han seleccionado todos los observatorios que se encuentran a menos de 30 km del centroide de las cuencas estudiadas y que tengan los datos horarios del día 29 de octubre completos (70 estaciones) (Tabla 3).

Tabla 3. Observatorios utilizados según fuente

Estaciones	AEMET	AVAMET	IVIA	METPIF	SAIH-CHJ	SISRITEL	Total
Datos diarios	5	65	4	2	18	18	112
Datos horarios	5	36	4	2	17	6	70

Elaboración propia

La red de SISRITEL ha sido importante para confirmar los valores en el sector con máximas precipitaciones, mientras que la red de observatorios forestales ha sido clave en la estimación de la precipitación de la cabecera del barranco Grande, ante la escasez de otros observatorios.

En el proceso de selección de observatorios se han descartado los redundantes (observatorios muy cercanos entre sí), manteniendo los más coherentes. También se han descartado los que, en las sucesivas fases de aproximación cartográfica, mostraban valores claramente anómalos. En estos casos se ha intentado averiguar la causa de las anomalías (por ejemplo, anotaciones cinciminutales en la hora siguiente a la que cayó realmente la precipitación, por fallos en las comunicaciones).

Los datos utilizados son siempre los valores brutos registrados, excepto en los observatorios de la red SISRITEL, en los que se ha utilizado la verificación realizada por Beguerías et al. (2024), ya que los registros estaban sobrevalorados en porcentajes entre 5,5 % y 18,5 %.

2.3.2. Método de interpolación geoestadístico y validación

Las estimaciones cuantitativas de precipitación (QPE) procedentes de radares meteorológicos pueden ser una fuente de registros de precipitación de gran valor (Canovas García et al., 2018). Sin embargo, como se ha señalado, el tipo de radar disponible (de banda C) y la orientación del sistema convectivo respecto a este, impidieron su utilización. Por ello, para realizar la interpolación geoestadística de los valores de precipitación no se ha podido utilizar sistemas combinados, como el GRISO (generador aleatorio de interpolación espacial para observaciones inciertas), que da resultados similares o ligeramente superiores al kriging (Bruno et al., 2021).

Otros sistemas utilizados a menudo son los métodos deterministas de interpolación, como por ejemplo la ponderación inversa a la distancia (Cassola et al., 2023). No obstante, el kriging ordinario es ampliamente reconocido en la interpolación de los datos de precipitación, por minimizar la varianza del error de predicción,

al considerar la estructura de correlación espacial a través del semivariograma. Esto lo hace superior a métodos determinísticos o a la regresión simple en entornos complejos (Romero Fresneda et al., 2020; Katipoğlu, 2022). Ha sido utilizado, por ejemplo, en episodios recientes de lluvias intensas en el sureste español (Espín Sánchez et al., 2017), en este caso con semivariograma esférico.

Para elegir el modelo del semivariograma se han probado los modelos no lineales que ofrece el kriging ordinario en el conjunto de datos diarios y se ha sometido los resultados de la interpolación a una validación cruzada (Tabla 4) (valor medio, media cuadrática, media estandarizada, raíz cuadrada media estandarizada y error estándar promedio). Finalmente, se ha optado por el modelo tetrasférico, un semivariograma con transición suave en distancias cortas (Chiles & Delfiner, 2012), ya que ha mostrado flexibilidad para adaptarse a cambios abruptos en la correlación espacial. Estos cambios son característicos de eventos extremos, donde la precipitación puede variar significativamente en distancias cortas, como los sistemas convectivos intensos.

Tabla 4. Métricas de validación cruzada para los distintos modelos geoestadísticos testados

Modelo de semivariograma	Nugget	VM	MC	ME	RCME	EEP
Esférico	613,75	0,653	56,882	0,000	0,713	86,288
Exponencial	0,00	1,525	58,081	0,006	0,631	102,647
Circular	4.066,40	1,477	55,177	0,008	0,529	106,066
Tetrasférico	0,00	0,550	57,901	-0,002	0,785	83,561
Gaussiano	1.851,26	-1,594	56,333	-0,033	1,068	54,788

VM: valor medio, MC: media cuadrática, ME: media estandarizada, RCME: raíz cuadrada media estandarizada, y EEP: error estándar promedio.

Elaboración propia

El grid utilizado tiene un tamaño de celda de 200m. En general, se recomienda una resolución de entre 200-500 celdas en la dimensión menor para equilibrar la precisión y la eficiencia (Webster & Oliver, 2007). En nuestro caso, 52 km (la dimensión menor de la superficie interpolada) supone 260 celdas con un tamaño de 200x200 m, lo cual cumple el estándar y evita pérdidas de estructura espacial o sobrecarga computacional.

2.3.3. Extracción de volumen precipitado por subcuenca

En primer lugar, se han extraído las subcuenca y la red hidrográfica (topográfica). En esta fase se generan los cursos de agua definiendo umbrales de acumulación para la red hídrica y se delimitan las subcuenca de los puntos seleccionados por el usuario. La extracción de la red hidrográfica topográfica y las subcuenca se ha llevado a cabo a partir de un Modelo Digital del Terreno de 5x5 metros de resolución mediante las herramientas del paquete *Hydrology* del software ArcGIS Pro 3.4.1.

Para el cálculo del volumen precipitado en subcuenca y en las asociaciones de subcuenca, se emplean los grids de precipitaciones generados en la fase de interpolación. Mediante la herramienta *Zonal Statistics as table* (herramienta que calcula estadísticas para zonas definidas sobre un ráster) se obtiene la suma y el promedio de las precipitaciones por subcuenca. Luego se agregan los resultados en asociaciones, sumando los aportes individuales de las subcuenca.

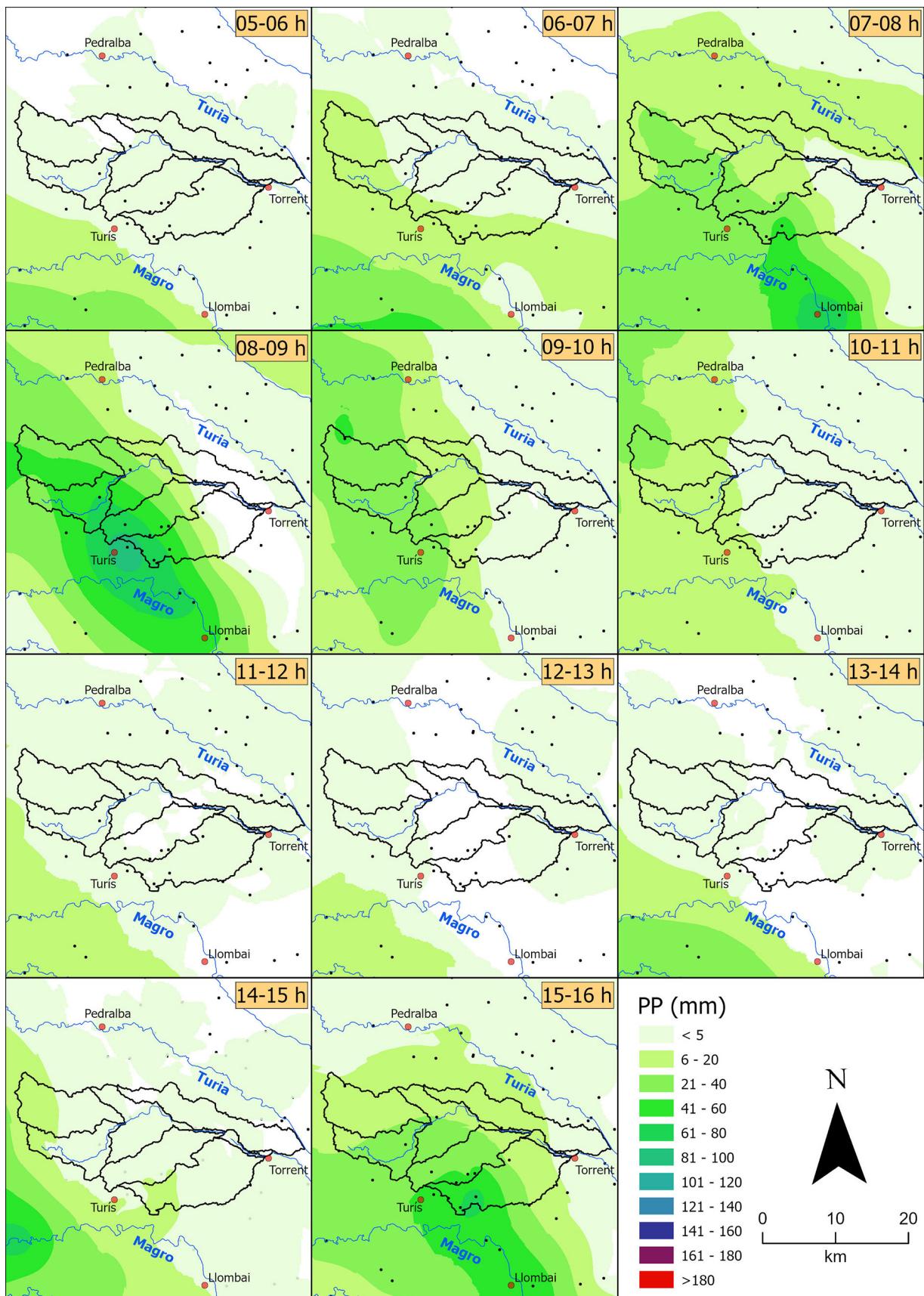
3. Resultados

Los resultados de este trabajo se centran en los volúmenes de precipitación horaria caída en subcuenca del área de estudio. Para ello, según se explica en la metodología, se han utilizado todos los observatorios con registro horario o minutal aprovechables de los que se tenía conocimiento de las redes de AVAMET, AEMET, SISRTEL, CHJ, IVIA y de observatorios forestales (MetPif GVA), tras un proceso de validación de datos. Con ellos se ha cartografiado la precipitación acumulada durante cada hora, y a partir de esta distribución espacial de la lluvia, se han calculado los volúmenes.

3.1. Evolución espacial horaria de la precipitación

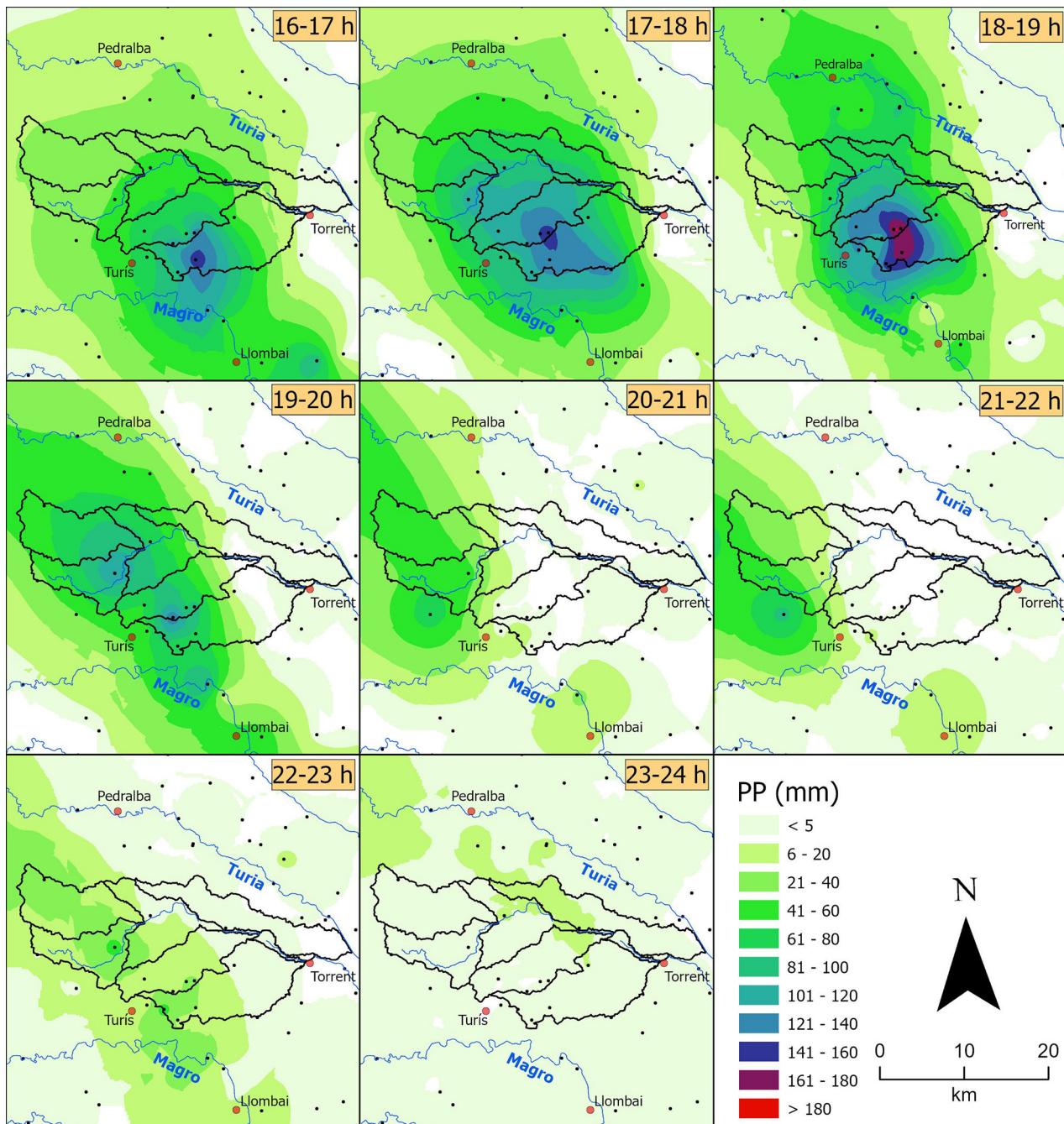
Este es un análisis clave en la reconstrucción de los procesos hidrológicos e hidrogeomorfológicos desencadenados. En esencia, se trata de analizar los *inputs* pluviométricos al sistema hidrológico de un modo suficientemente desagregado como para poder formular hipótesis de comportamiento y, por tanto, un diagnóstico lo más certero posible de lo que ocurrió, de cuándo ocurrió y de cómo ocurrió (Figuras 10 y 11).

Figura 10. Evolución de las precipitaciones horarias en la cuenca de Poyo y alrededores durante el día 29 de octubre de 2024 (de 05 h a 16 h)



Fuente: datos de precipitación de observatorios de AEMET, AVAMET, SAIH-CHJ, IIVIA, MetPif GVA y SISRITEL. Elaboración propia

Figura 11. Evolución de las precipitaciones horarias en la cuenca de Poyo y alrededores durante el día 29 de octubre de 2024 (de 17 h a 24 h)



Fuente: datos de precipitación de observatorios de AEMET, AVAMET, SAIH-CHJ, IIVIA, MetPif GVA y SISRITEL. Elaboración propia

Como se ha señalado, el episodio de lluvias se ciñó estrictamente al 29 de octubre. Aunque empezó a llover a primeras horas de la noche, no se han representado estas lluvias horarias al considerar que no son significativas. A las 05-06 horas apenas estaba lloviendo en el área de estudio, aunque sí lo hacía en la cuenca baja del río Magro. A las 07-08 horas ya se alcanzan intensidades horarias cercanas a 50 mm en las cabeceras de las cuatro subcuencas básicas (Grande, Chiva, Horteta y Gallego). Esta fase de lluvias se centra en Turís, tiene su máxima intensidad a las 08-09 horas, y declina a la hora siguiente. Entre las 10 y las 15 horas disminuyen mucho las precipitaciones horarias e incluso deja de llover en amplios sectores de la cuenca de Poyo, sobre todo entre las 13 y 14 horas.

La segunda fase de lluvias horarias empieza a las 15 horas. A esta hora ya se superan intensidades de 60 mm en observatorios de la cabecera del barranco de l'Horteta y de 120 mm en la hora siguiente. Esta fase de lluvias alcanza la máxima intensidad entre las 18 y 19 horas, y se sigue focalizando en la cabecera de este

barranco. De 17 a 19 horas las intensidades llegan a superar más de 100 mm/h en todas las subcuenca de Poyo, excepto en la cuenca del barranco Grande, y apenas se desplazan espacialmente.

A partir de las 19 horas se observa una paulatina disminución de las intensidades, hasta las 23 horas, y a la vez un desplazamiento hacia las dos cabeceras más interiores de la rambla de Poyo, las cuencas de los barrancos de Chiva y Grande. Aun así, se mantienen intensidades cercanas o superiores a 50 mm/h en algún observatorio hasta las 22-23 horas, en especial en la cuenca del barranco de Chiva. Mientras tanto, en sectores cada vez más amplios de la parte central y baja del área, a partir de las 19 horas deja de llover. Esta subfase de lluvias marcará un comportamiento diferenciado entre los aportes pluviométricos de la parte alta y de la parte media y baja de la cuenca.

3.2. Los volúmenes de precipitación

Los resultados de los volúmenes de precipitación se muestran en las tablas 5 y 6, así como en las figuras 12 y 13. Se han calculado totales horarios de precipitación caídos en la hora previa a la que se indica. Así, por ejemplo, la indicación PH06 hace referencia a la lluvia caída entre las 05:01 y las 06:00 (horas oficiales).

El cálculo básico es el agua caída en las subcuenca definidas y en los interfluvios. Se centra la atención, en especial, en las cuatro grandes cuencas afluentes que conforman la rambla de Poyo (Grande, Chiva, Gallego y Horteta), y en el espacio interfluvio que va desde la confluencia de Grande y Chiva en Cheste hasta la confluencia con el barranco de Gallego, así como en el conjunto Possalet-Saleta. Estos seis espacios tienen una extensión considerable, que va desde unos 52 km² en el caso del barranco de Chiva hasta 95,5 km² en la de Horteta. Todos ellos pueden generar unos volúmenes horarios de precipitación superiores a dos hm³.

En total, la suma de los aportes de estas seis subcuenca, las cinco de Poyo más la de Possalet-Saleta, suponen un 99,6% de los aportes totales de precipitación del agua que llegó a los abanicos aluviales de l'Horta Sud a través de los cauces de Saleta, Poyo y Horteta. Otros espacios interfluviales considerados (los tres señalados en gris en la tabla 5) tienen una extensión mucho menor. Aportan únicamente el 0,4% restante y solo se han utilizado para el cálculo de los resultados globales, y en particular para evaluar los volúmenes caídos aguas arriba del aforo.

En la tabla 5 y figura 12 se han destacado los aportes horarios por subcuenca superiores a 2 hm³ en el tramo entre las 06 y las 24 horas. Los valores están referidos al total de la subcuenca y son los acumulados en la hora previa. En la fase de lluvias de la mañana los valores superiores a un hm³ se alcanzan ya en todas las subcuenca de la parte baja (Gallego y Horteta), así como en la parte alta y media (Chiva, Grande y Poyo-medio). Pero es a partir de las 9 horas cuando se superan valores de 2 hm³, sobre todo en las subcuenca de cabecera (Grande y Chiva). La fase de lluvias con aportes superiores a un hm³ es de tres horas (de 8 a 10 horas), con máximos a las 9 horas. En conjunto, en estas tres horas, en toda la cuenca de Poyo se registran unos 24 hm³, y son ligeramente superiores las aportaciones en la parte superior de la cuenca, que aguas abajo.

Tras este episodio de lluvias, que decae mucho ya a las 11 horas, sigue una fase casi sin precipitaciones en ninguna parte de la cuenca (de 12 a 15 horas), pero rápidamente se inicia una segunda tanda de precipitaciones, sobre todo en la parte media y baja de la cuenca. Así, a las 16 horas, la subcuenca de Horteta ya registra un aporte pluviométrico de 2,78 hm³, seguida de la subcuenca de Gallego (1,96 hm³). En esta hora (PH16), la cantidad de lluvia caída aguas arriba del aforo es todavía inferior a la caída durante el momento álgido de la mañana (PH9) (3,5 hm³ frente a 7,4 hm³). Mientras tanto, los aportes pluviométricos de Horteta y Gallego (y de toda la cuenca aguas abajo del aforo) son ya ligeramente superiores (4,79 frente a 4,68). En Horteta, durante PH16, caen ya 2,78 hm³.

Pero es a partir de las 17 horas, hasta las 20 horas, cuando se producen los máximos aportes pluviométricos. En estas tres horas la subcuenca de Horteta recibe 20,7 hm³. La siguiente subcuenca en importancia es la de Gallego, con 18,3 hm³, seguida de la de Poyo medio, con 14,4 hm³. Casi toda la escorrentía de esta última subcuenca es registrada en el aforo, y genera un caudal, hasta el momento de la rotura, de 2.283 m³/s. El agua caída en las dos subcuenca de cabecera (Grande y Chiva) se incorporaría más tarde. Los aportes pluviométricos de cada una de ellas solo superan 2 hm³ a partir de las 17 horas (PH18), y empiezan a ser superiores a las de las tres subcuenca de la parte media y baja, únicamente, a partir de las 19 horas (PH20). Durante esta hora (PH20) el aporte de la subcuenca del Poyo medio es de 4,0 hm³, también superior al *input* pluviométrico de las subcuenca de Horteta y Gallego.

Tabla 5. Volúmenes totales horarios por subcuenca (hm³)

Subcuenca	km ²	PH06	PH07	PH08	PH09	PH10	PH11	PH12	PH13	PH14	PH15	PH16	PH17	PH18	PH19	PH20	PH21	PH22	PH23	PH24	24horas
Grande	72,5	0,0	0,4	1,4	2,9	2,1	1,2	0,1	0,1	0,1	0,4	1,0	1,9	3,5	2,8	5,0	3,1	2,0	1,6	0,1	31,0
Chiva	52,0	0,1	0,4	1,2	2,6	1,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3	1,8	3,5	2,4	4,0	2,4	1,8	1,2	0,0	24,9
Poyo medio (hasta aforo)	58,6	0,0	0,1	0,9	1,8	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	2,8	5,3	5,1	4,0	0,4	0,1	0,6	0,2	25,0
Poyo_anter_Gallego	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Gallego	64,5	0,1	0,2	1,1	2,6	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	2,0	4,5	7,1	7,5	3,7	0,2	0,1	0,8	0,1	31,0
Poyo_anter_Horteta	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Horteta	95,6	0,1	0,4	1,6	2,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	2,8	6,6	9,0	8,6	3,1	0,1	0,0	0,8	0,2	36,4
Poyo_Apical	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Possalet-Saleta	74,6	0,0	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,7	3,2	2,4	0,8	0,0	0,0	0,2	0,0	10,3

PH: Total de precipitación durante la hora previa a la especificada.

Elaboración propia

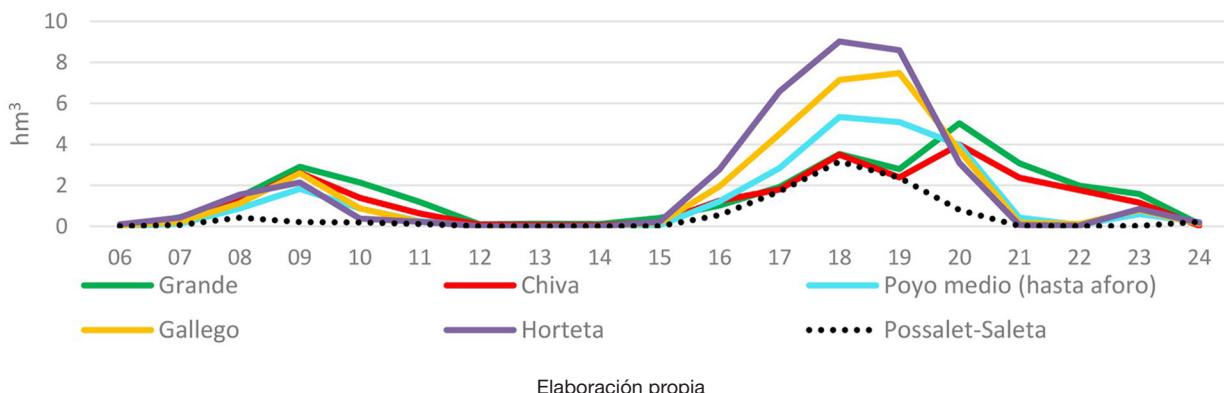
Tabla 6. Volúmenes totales horarios por conjuntos de subcuenca de la rambla de Poyo (hm³)

Subcuenca	km ²	PH06	PH07	PH08	PH09	PH10	PH11	PH12	PH13	PH14	PH15	PH16	PH17	PH18	PH19	PH20	PH21	PH22	PH23	PH24	24horas
Poyo hasta Aforo	183,0	0,1	0,9	3,5	7,4	4,4	2,1	0,2	0,2	0,2	0,7	3,5	6,6	12,4	10,3	13,0	5,9	3,8	3,4	0,4	80,8
Poyo hasta Gallego	184,6	0,1	0,9	3,6	7,4	4,4	2,1	0,2	0,2	0,2	0,7	3,5	6,6	12,5	10,3	13,0	5,9	3,8	3,4	0,4	81,1
Poyo hasta Horteta	254,4	0,2	1,1	4,7	10,0	5,3	2,3	0,2	0,2	0,2	0,9	5,5	11,2	19,8	17,9	16,7	6,1	4,0	4,2	0,5	112,5
Poyo en Torrent	351,5	0,3	1,6	6,2	12,1	5,7	2,5	0,2	0,2	0,2	1,1	8,3	17,8	28,8	26,5	19,8	6,1	4,0	5,0	0,7	148,9
Poyo post Aforo	168,5	0,2	0,7	2,7	4,7	1,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	4,8	11,2	16,5	16,3	6,8	0,2	0,2	1,6	0,3	68,1

PH: Total de precipitación durante la hora previa a la especificada.

Elaboración propia

Figura 12. Evolución horaria del volumen de aportaciones pluviométricas el 29 de octubre de 2024 en subcuenas de la rambla de Poyo y el conjunto Possalet-Saleta



Horteta es la subcuenca con más aportaciones de agua precipitada en una hora ($9,0 \text{ hm}^3$ durante la PH18, de cinco a seis de la tarde), y solo empieza a declinar durante la PH20. A esta hora es superada ya por las tres subcuenas de Poyo antes del aforo, e incluso por la de Gallego. La subcuenca de Horteta, por tanto, es la que empieza antes a recibir las grandes aportaciones pluviométricas de la tarde, la que registra un mayor volumen de precipitación horaria y la que empieza antes a declinar, pues deja de recibir precipitaciones a partir de la PH21. Durante esa hora y la siguiente, solo las dos subcuenas de cabecera registran lluvias superiores a 2 hm^3 .

Por su parte, el conjunto de Possalet-Saleta sigue un comportamiento semejante al de la parte baja de la cuenca, con aportaciones máximas durante la PH18 ($3,2 \text{ hm}^3$), que cesan a partir de la PH20. Los volúmenes de agua precipitada no parecen corresponderse con la riada registrada en Aldaia, pero su escorrentía pudo verse incrementada por la derivación hacia el N de parte de la inundación del Pla de Quart: la relación entre los aportes pluviométricos y el comportamiento de su riada no parecen estar tan vinculados como en el caso de Poyo.

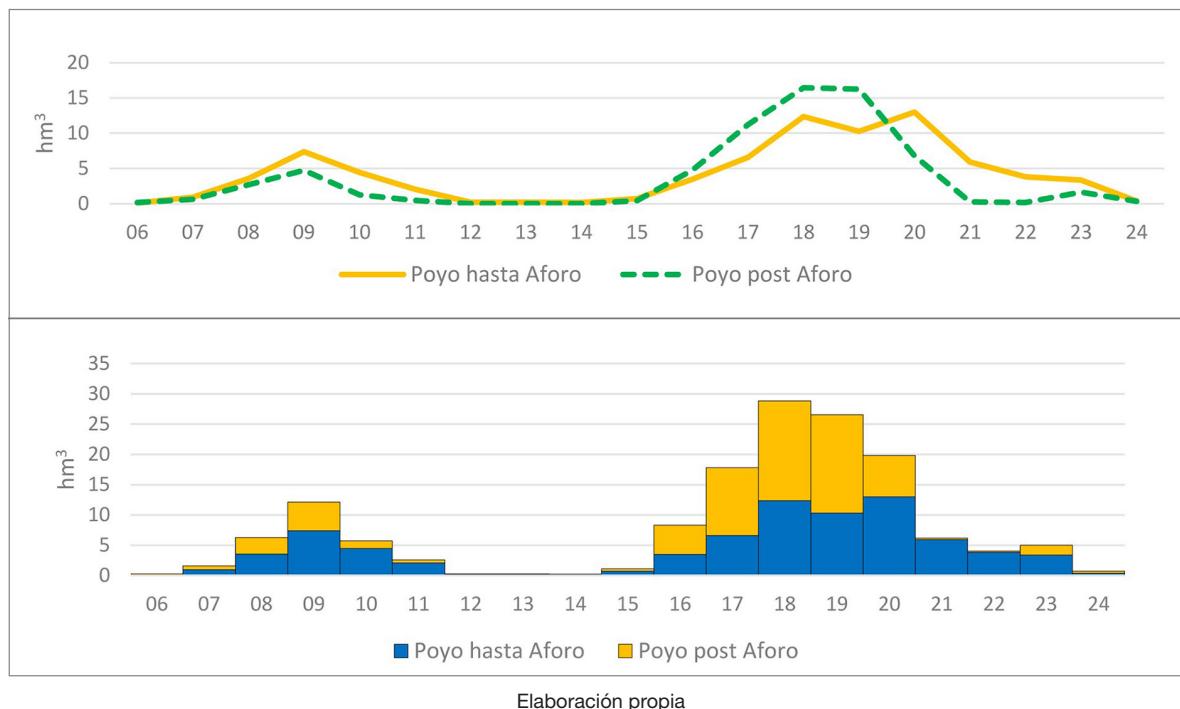
4. Discusión de resultados

Las diferencias sutiles en las cantidades y ritmos temporales de lluvia condicionan, sin duda, el comportamiento de las riadas. En el caso de los aportes pluviométricos de los cinco espacios considerados en la cuenca de Poyo se registra un comportamiento similar en todos ellos, pero con matices horarios capaces que condicionar la riada en el punto apical del abanico aluvial de la rambla, en Torrent. En conjunto (i) la aportación pluviométrica de la parte de cuenca aguas abajo del aforo fue similar a la de la cuenca aforada, en el total de las lluvias del 29 de octubre de 2024 (Figura 13), (ii) las lluvias de la parte alta fueron superiores en la primera fase de riada, pero inferiores en la fase crítica y (iii) hubo un pequeño desfase horario entre la aportación pluviométrica de aguas arriba y abajo del aforo, siendo más tempranos (como mínimo una hora) los *inputs* de la parte media y baja, es decir, la lluvia caída en la parte no aforada de la cuenca. En conjunto, las aportaciones pluviométricas de la fase crítica fueron desplazándose de SE a NW.

En la fase crítica de la riada, la catastrófica de la tarde del 29 de octubre, los aportes de precipitación de 16 a 19 horas son mayores en la parte de cuenca aguas abajo del aforo que en la parte de cuenca aforada. La precipitación comenzó a registrar fortísimos volúmenes en las cuencas de Horteta y Gallego al menos una hora antes de hacerlo en las cabeceras de Poyo. Solo la parte baja de la cuenca aforada, la que se extiende tras la confluencia de los barrancos Grande y Chiva en Cheste (subcuenca de Poyo-medio), tuvo un comportamiento pluviométrico similar al de la parte no aforada, pero sus *inputs* no llegan a alcanzar ni un tercio del total.

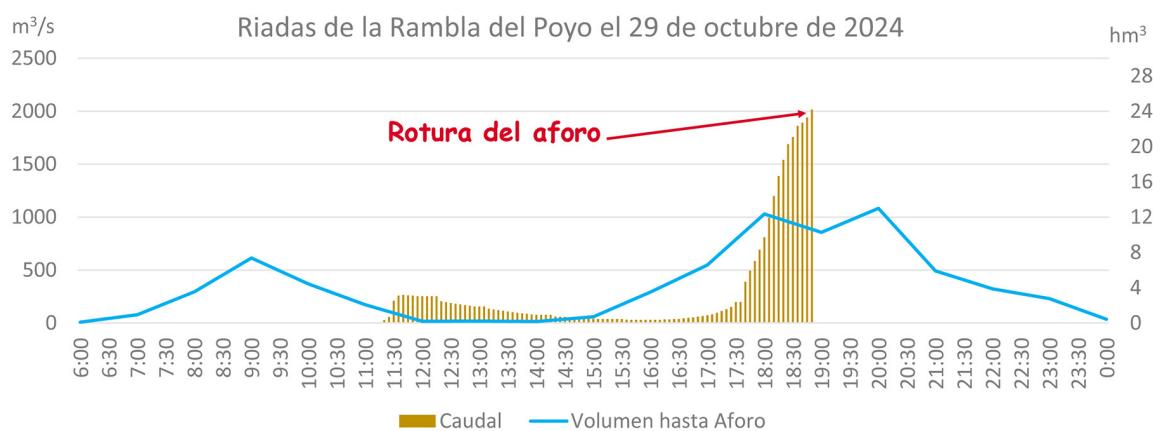
Los aportes pluviométricos horarios de la parte aforada tienen dos picos temporales, a las PH18 y a las PH20. A partir de esta última hora, las lluvias en las cuencas de los barrancos Grande y Chiva ya fueron claramente mayores que los del resto de la cuenca. En la figura 14 se muestra que esta parte aforada de la cuenca tuvo tres fases de precipitación diferenciadas: (i) el pico de la PH9, que produjo una riada en el aforo de $252 \text{ m}^3/\text{s}$ de caudal máximo (a las 12:00 horas); (ii) el pico de la PH18, que generó una riada de $2.283 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta que se rompió el aforo a las 18:55 (probablemente por la lluvia caída en la subcuenca de Poyo-medio y las partes bajas de las subcuenas de los barrancos Grande y Chiva); (iii) un pico de aportación pluviométrica durante la PH20, de más de 12 hm^3 , generado sobre todo por las lluvias en las cuencas de estos dos últimos barrancos.

Figura 13. Evolución horaria comparada del volumen de aportaciones pluviométricas del 29 de octubre de 2024 aguas arriba y abajo del aforo



Elaboración propia

Figura 14. Riadas de la rambla de Poyo el 29 de octubre de 2024 registradas en el aforo y aportaciones pluviométricas aguas arriba



Fuente: datos de la SAIH-CHJ y de la red de observatorios utilizados para el cálculo de volúmenes. Elaboración propia

La relación temporal entre las precipitaciones caídas y los caudales medidos en la parte alta de la cuenca muestran un desfase de unas tres horas entre el pico de aportaciones de PH9 y el pico de la riada en el aforo. La respuesta hidrológica de la cuenca tuvo que superar el estado seco de los suelos y las características calcaráreas, muy permeables, de la cabecera. La respuesta hidrológica de la tarde, sin embargo, fue más rápida, de una hora y media entre el pico de aportaciones de PH18 (de 17 a 18 horas) y un caudal que ya había roto el aforo a las 19 horas. Probablemente, las lluvias de la mañana saturaron el suelo y los cauces pedregosos, y permitieron que hubiese una escorrentía más abundante en la riada de la tarde, con menores tasas de infiltración y una mayor conectividad. Pero se trata simplemente de una hipótesis, que parte de la relación entre la temporalidad y espacialidad de las precipitaciones y los datos de caudal del único aforo existente.

5. Conclusiones

Este trabajo muestra la importancia de las redes no oficiales, o de otros organismos, en la cartografía de la precipitación a escala temporal inferior a la diaria, debido a la necesidad de apoyarse en redes de observatorios

no manuales. En este caso, la densidad en la zona de observatorios automáticos de AVAMET, según nuestro criterio, ha sido la clave principal de la solidez de los resultados. También se tuvo la oportunidad de disponer de observatorios de la red privada de SISRITEL, muy densa en la zona de máximos volúmenes de precipitación del episodio. El valor de estos observatorios, como apoyo de las redes oficiales (AEMET y SAIH-CHJ) está tanto en aumentar el número de puntos de registro como en servir de contraste para observatorios cercanos. Por el contrario, no ha sido posible integrar el campo de precipitación estimada por el radar de Valencia para mejorar la distribución de la misma, debido a la fuerte atenuación de la señal que se produjo.

La distribución espacial de las lluvias diarias muestra un episodio que no supera, pero se acerca, a los máximos registros citados en tierras valencianas y en la cuenca del Mediterráneo occidental, con valores cercanos a 1.000 mm/día en varios casos.

La alta densidad disponible de observatorios automáticos, a pesar del reconocido problema inherente de infraestimación de la lluvia, ha permitido generar una detallada cartografía de precipitación horaria. Esta es quizás la principal aportación novedosa del trabajo. Pensamos que la metodología utilizada puede extenderse a estudios de precipitaciones intensas de situaciones futuras, siempre que se disponga de una red suficientemente densa de observatorios que permita generar grids con una resolución adecuada.

Los resultados obtenidos con esta metodología han permitido, en el caso analizado, la elaboración de hipótesis explicativas del episodio. El ritmo temporal y espacial de las aportaciones pluviométricas es clave para entender y elaborar hipótesis de cómo funcionó la riada catastrófica de la tarde del 29 de octubre en l'Horta Sud. En este trabajo no se analiza el comportamiento y magnitud de esta riada, que solo puede realizarse con un trabajo de modelización hidrológica. Para la elaboración de estas hipótesis, en especial para descartar el papel de la lluvia caída en cabecera en el inicio de la catástrofe, únicamente se relacionan los *inputs* pluviométricos con la respuesta del sistema. Los datos de esta respuesta muestran una conclusión obvia: la escorrentía que entre las 18:55 y 19:00 rompió el aforo no pudo ser la misma que la que, a partir de las 18 horas, empezó a producir destrozos en el abanico aluvial de la rambla.

La hipótesis más probable es que la escorrentía que llegó primero a l'Horta Sud fue la generada en la subcuenca del barranco de l'Horteta (a pesar de la pérdida de 2,2 hm³ en la cantera de Calicanto), con la aportación de Gallego y de la parte baja de la cuenca de Poyo. La llegada de la escorrentía de Poyo tuvo una dificultad añadida, pues parte de ella derivó hacia el NE y saltó a la cabecera del barranco de la Saleta, quizás ayudada por un efecto de barrera hidráulica provocado por la avenida de Gallego.

En todo caso, solo caben dos soluciones, a) o se juntaron los picos de Horteta, Gallego y parte baja de Poyo (la que rompió el aforo con 2.283 m³/s), y entonces la riada pudo triplicar o más esta cantidad, o b) llegaron primero las aguas de Horteta y seguidamente lo hicieron las de Gallego y Poyo, con una cierta laminación del pico de crecida. Lo que seguro no ocurrió en la riada catastrófica de la tarde del 29 de octubre de 2024 en el abanico aluvial de la rambla en l'Horta Sud es que la responsabilidad principal fuera de las cabeceras de Poyo, que tuvieron unos aportes más tardíos y más alejados del punto apical de este abanico.

Contribución de autoría

- Alejandro J. Pérez Cueva: Conceptualización, Metodología, Supervisión, Redacción del borrador original, Revisión y edición.
- Rafael Armengot Serrano: Conceptualización, Metodología, Revisión crítica.
- Ghaleb Fansa Saleh: Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Validación, Visualización, Revisión crítica.
- Jose Angel Núñez Mora: Curación de datos, Análisis formal, Metodología, Recursos, Redacción del borrador original, Validación, Revisión crítica.
- Adrià Revert Ferrero: Curación de datos, Recursos, Revisión crítica.

Agradecimientos

A los voluntarios de AVAMET, a los observadores de la red secundaria de AEMET, a César Azorín (CSIC) por facilitar su base de datos de precipitación, a Micro2engineering s.l. por el desarrollo del sistema SISRITEL.

Referencias

- Alvarez-de-Buero, E., & Meléndez-Hevia, F. (1994). Características generales de las subcuencas del margen peninsular mediterráneo (“Rift” del Surco de Valencia). *Acta Geológica Hispánica*, 67-79.
- Armengot, R. & Pérez-Cueva, A. J. (1996). La importancia hídrica de los volúmenes de precipitación intensa en el territorio valenciano. In M.V. Marzol, P. Dorta & P. Valladares (Eds.), *Clima y agua: la gestión de un recurso climático* (pp. 225-234).
- Armengot, R., Abellán, J.J., & Pérez-Cueva, A. J. (2001). Evaluación de un modelo de regresión logística de lluvias intensas en territorio valenciano. In *II Congreso de la AEC, El tiempo del clima* (pp. 291-302).
- Ayala, C., Torne, M., & Roca, R. (2015). A review of the current knowledge of the crustal and lithospheric structure of the Valencia Trough Basin. *Boletín Geológico y Minero*, (126), 533-552.
- Becat, J. & Soutadé, G. (Eds.) (1993). L'aiguat del 40. Inundacions catastròfiques i polítiques de prevenció a la Mediterrània nord-occidental. In *Actes del congrés Les inundacions d'octubre de 1940 a Catalunya: 50 anys després*, Vernet (Conflent, Catalunya Nord). Servei Geològic de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya.
- Beguería, S., Azorín, C., & Vicente, S.M. (2024). Ground records and spatial fields of the 2024/10/29 extreme precipitation event in Valencia, Spain [Dataset]. DIGITAL.CSIC. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/16716>
- Boix, M., Rel, A. & de Jódar, D. (1982). La sequía de 1978-1981 en tierras valencianas. *Cuadernos de Geografía*, (30), 25-40.
- Bosch, M. (1866). *Memoria sobre la inundación del Júcar presentada al Ministerio de Fomento*. Imprenta Nacional.
- Bruno, G., Pignone, F., Silvestro, F., Gabellani, S., Schiavi, F., Rebora, N., Giordano, P., & Falzacappa, M. (2021). Performing Hydrological Monitoring at a National Scale by Exploiting Rain-Gauge and Radar Networks: The Italian Case. *Atmosphere*, (12), 771. <https://doi.org/10.3390/atmos12060771>
- Camarasa-Belmonte, A. (1995). *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo*. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- Cánovas García, F., García Galiano, S. G., & Alonso Sarría, F. (2018). Validación de las estimaciones de precipitación horaria de un radar meteorológico banda S para el seguimiento en tiempo real de extremos meteorológicos. In J. P. Montávez Gómez, Gómez Navarro, J. J., López Romero, J. M., Palacios Peña, L., Turco, M., Jerez Rodríguez, S., Lorente, R., Jiménez Guerrero, P. (Eds.), *El clima: aire, agua, tierra y fuego* (pp. 305-314). Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología. <http://hdl.handle.net/10317/10350>
- Cassola, F., Iengo, A., & Turato, B. (2023). Extreme convective precipitation in Liguria (Italy): a brief description and analysis of the event occurred on October 4, 2021. *Bulletin of Atmospheric Science and Technology*, (4), 4. <https://doi.org/10.1007/s42865-023-00058-3>
- Chiles, J. P. & Delfiner, P. (2012). *Geostatistics: modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118136188>
- Collier, C. G. (2002). Developments in radar and remote sensing methods for measuring and forecasting rainfall. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1796), 1345-1361. <https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1004>
- Doglioni, C., Gueguen, E., Sàbat, F., & Fernández, M. (1997). The western Mediterranean extensional basins and the Alpine orogen. *Terra Nova*, 9(3), 109-112. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.1997.d01-18.x>
- Espín Sánchez, D., García Lorenzo, R., Ruiz Álvarez, V., & Conesa García, C. (2017). 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. *Ingeniería del Agua*, 21(4), 213-229. <https://doi.org/10.4995/ia.2017.7773>
- García-Vélez, A., Soubrier, J., Muelas, A., Goy, J. L., Zazo C., & García-Ruz, L. (1980). *Mapa Geológico de España 1:50:000, hoja nº 721 (Cheste)*. IGME.
- Guigo, M. (1973). Pluie et crue des 7 et 8 octobre 1970 dans la région gênoise. *Méditerranée*, 12(1), 55-80. <https://doi.org/10.3406/medit.1973.1467>

- Katipoğlu, O. M. (2022). Spatial analysis of seasonal precipitation using various interpolation methods in the Euphrates basin, Turkey. *Acta geophys.*, (70), 859-878. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00756-0>
- Llasat, M.C. (1987). *Episodios de lluvias copiosas en Cataluña: génesis, evolución y factores coadyuvantes*. [Doctoral thesis, Universitat de Barcelona]. Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona. <https://hdl.handle.net/2445/35270>
- Martín-Vide, J., Moreno-García, M. C., & López-Bustins, J. A. (2021). Synoptic causes of torrential rainfall in South-eastern Spain (1941–2017). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 47(1), 143-162. <https://doi.org/10.18172/cig.4696>
- Mateu Bellés, J. F. (1983). La ciència i la tècnica davant les revingudes del Xúquer (1635-1905): Notes preliminars. *Cuadernos de geografía*, (32), 243-264.
- Morell Cuevas, J. & Pérez-Cueva, A. J. (2000). Volúmenes hídricos de las precipitaciones intensas en la Confederación Hidrográfica del Júcar. *Cuadernos de Geografía*, (67-68), 261-275.
- Morell Cuevas, J. (2001). El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia. *Geographicalia*, (40), 47-74. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2001401369
- Muelas, A., Soubrier, J., Goy, J. L., & Zazo, C. (1982). *Mapa Geológico de España 1:50:000, hoja nº 695 (Liria)*. IGME.
- Palanca Galindo, J. I. (1999). Análisis de avenidas del alto Palancia. *Cuadernos de Geografía*, (65-66), 369-374.
- Pérez-Cueva, A. J. & Armengot, R. (1983). El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cuenca baja del Júcar. *Cuadernos de Geografía*, (32-33), 61-86.
- Riesco, J. & Alcover, V. (2003). *Predicción de precipitaciones intensas de origen marítimo mediterráneo en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia*. Ministerio de Medio Ambiente.
- Rivrain, J. C. (1999). Los sistemas convectivos de mesoscala cuasi-estacionarios en forma de V en las áreas mediterráneas francesas. Algunos ambientes favorables para su desarrollo. In *IV Simposio Nacional de Predicción del Instituto Nacional de Meteorología* (pp. 165-171). Instituto Nacional de Meteorología. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/4256>
- Romero Fresneda, R., Moreno García, J. V., Martínez Núñez, L., Huarte Ituláin, M. T., Rodríguez Ballesteros, C., & Botey, M. R. (2020). Comportamiento de las precipitaciones en España y períodos de sequía (periodo 1961-2018). Nota técnica 32 de AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. <https://dx.doi.org/10.31978/666-20-006-0>
- Tomás Quevedo, A. (1963). Causas meteorológicas de las inundaciones del bajo Vallés, Llano de Llobregat y el Maresme. *Estudios Geográficos*, (91), 137-146.
- Webster, R. & Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470517277>