

Durán-Barroso, P.; Fragoso-Campón, L.; Quirós, E. Estudio de la umbralización de imágenes SAR en un episodio de inundación en el Río Gévora

Estudio de la umbralización de imágenes SAR en un episodio de inundación en el Río Gévora

Durán-Barroso, Pablo ¹ Fragoso-Campón, Laura ¹ Quirós, Elia ¹

¹ Universidad de Extremadura, España

ORCID: Durán-Barroso 0000-0003-1590-6924 Fragoso-Campón 0000-0003-0397-6247 Quirós 0000-0002-8429-045X

Correspondencia: pduranbarroso@unex.es laurafragoso@unex.es equiros@unex.es

RESUMEN

El aumento de la variabilidad hidrológica en cuencas mediterráneas exige metodologías capaces de relacionar crecidas fluviales con patrones espaciales de impacto. Este trabajo propone un marco integrado de análisis para la cuenca del río Gévora, combinando observaciones SAR del Sentinel-1, series históricas de caudal y delimitaciones cartográficas oficiales de inundaciones del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO). Se evaluó una crecida significativa (2018), correspondiente a periodo de retorno cercano a los 10 años, mediante procesamiento radiométrico y topográfico de imágenes SAR en polarizaciones VV y VH, aplicando criterios estadísticos de clasificación y validación basados en indicadores estadísticos de evaluación. La polarización VV mostró mayor consistencia clasificatoria en el entorno de estudio. La convergencia entre la delimitación de la inundación mediante imágenes SAR, y zonificación oficial de peligrosidad confirma la capacidad del enfoque para traducir magnitudes hidrológicas en escenarios espaciales de afectación. Este esquema metodológico contribuye a consolidar las imágenes SAR como herramienta estructural de planificación adaptativa frente a extremos hidrológicos crecientes.



Palabras clave: Teledetección; SAR; Inundaciones fluviales; Sentinel-1; Sistemas de alerta temprana


Fecha de recepción: 22 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 22 febrero 2026

Estudio de la umbralización de imágenes SAR en un episodio de inundación en el Río Gévora

Durán-Barroso, Pablo ⁽¹⁾, Fragoso-Campón, Laura ⁽²⁾, Quirós, Elia ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad de Extremadura, España.

 0000-0003-1590-6924, pduranbarroso@unex.es ;  0000-0003-0397-6247, laurafragoso@unex.es

 0000-0002-8429-045X, equiros@unex.es

Resumen: El aumento de la variabilidad hidro climática en cuencas mediterráneas exige metodologías capaces de relacionar crecidas fluviales con patrones espaciales de impacto. Este trabajo propone un marco integrado de análisis para la cuenca del río Gévora, combinando observaciones SAR del Sentinel-1, series históricas de caudal y delimitaciones cartográficas oficiales de inundaciones del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO). Se evaluó una crecida significativa (2018), correspondiente a periodo de retorno cercano a los 10 años, mediante procesamiento radiométrico y topográfico de imágenes SAR en polarizaciones VV y VH, aplicando criterios estadísticos de clasificación y validación basados en indicadores estadísticos de evaluación. La polarización VV mostró mayor consistencia clasificatoria en el entorno de estudio. La convergencia entre la delimitación de la inundación mediante imágenes SAR, y zonificación oficial de peligrosidad confirma la capacidad del enfoque para traducir magnitudes hidrológicas en escenarios espaciales de afectación. Este esquema metodológico contribuye a consolidar las imágenes SAR como herramienta estructural de planificación adaptativa frente a extremos hidrológicos crecientes.

Palabras clave: Teledetección; SAR; Inundaciones fluviales; Sentinel-1; Sistemas de alerta temprana

Spatial Prediction of Flood Impacts Using SAR and Hydrological Data in the Gévora River

Abstract: *Rising hydroclimatic variability across Mediterranean catchments demands methodological frameworks that can robustly link flood magnitudes to spatially explicit impact patterns. This study advances an integrated assessment scheme for the Gévora River basin by combining Sentinel-1 SAR observations, long-term discharge records, and the official flood delineation products issued by Spain's Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge (MITECO). A major flood event (2018), associated with an approximate 10-year return period, was analysed through radiometric calibration and topographic correction of SAR imagery in VV and VH polarisations, followed by statistical classification and validation using standard performance indicators. Within the study context, VV exhibited superior classification robustness. The close agreement between SAR-derived inundation extent and the official hazard zoning substantiates the ability of the proposed framework to translate hydrological forcing into spatial impact scenarios. Overall, the approach strengthens the role of SAR-based flood mapping as a structural component of impact-informed preparedness and adaptive planning under increasingly frequent hydrological extremes.*

Keywords: *Radar remote sensing; SAR; River flooding; Sentinel-1; Early warning systems*

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos de precipitación asociados al cambio climático está intensificando la exposición y vulnerabilidad de numerosos territorios frente al riesgo de inundación. La teledetección ha demostrado ser una herramienta clave para la monitorización de inundaciones a escala global y la evaluación de la exposición de la población (Tellman *et al.*, 2021). En cuencas mediterráneas de respuesta rápida, caracterizadas por alta variabilidad interanual y

episodios convectivos intensos, la gestión del riesgo exige herramientas capaces de proporcionar información fiable en tiempo casi real, incluso bajo condiciones atmosféricas adversas. En este contexto, la teledetección radar de apertura sintética (SAR) se ha consolidado como una tecnología estratégica para la monitorización de inundaciones, debido a su capacidad de adquisición independiente de la nubosidad y de la iluminación solar (Schumann & Moller, 2015).

El presente trabajo se desarrolla sobre la cuenca transfronteriza del río Gévora (Badajoz), centrándose en la caracterización post-evento basado en la integración de imágenes SAR del Sentinel-1 con datos históricos de caudal registrados en las estaciones de aforo del SIRA Guadiana CR2-45 y CR2-55. La disponibilidad de series temporales prolongadas permite analizar la relación entre la magnitud del caudal y la extensión espacial de la lámina de inundación, facilitando la identificación de umbrales hidrológicos significativos y la mejora de la modelización del riesgo de inundación (Bates *et al.*, 2018; Domeneghetti *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista físico, la discriminación entre superficies inundadas y no inundadas se fundamenta en los diferentes mecanismos de retrodispersión de la tecnología radar. Las superficies de agua en calma generan reflexión especular y, por tanto, bajos valores de retrodispersión, mientras que las superficies terrestres rugosas presentan retrodispersión difusa de mayor intensidad (Richards, 2009; Schumann & Moller, 2015). Esta diferencia permite delimitar con elevada exactitud la extensión de la inundación incluso durante el pico del evento (Twele *et al.*, 2016; Clement *et al.*, 2018). La comparación entre polarizaciones VV y VH constituye un elemento clave del análisis, dado que la sensibilidad a la rugosidad y a la estructura de la vegetación puede influir en la exactitud de la delimitación espacial (Lee & Pottier, 2017).

El objetivo de este trabajo es evaluar la robustez clasificatoria de distintas configuraciones de imágenes SAR de Sentinel-1 en la delimitación de áreas inundadas, analizando la consistencia clasificatoria de polarizaciones, coeficientes radiométricos y geometrías orbitales mediante métricas de validación cuantitativa, a partir de una crecida fluvial significativa en la cuenca del río Gévora.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y eventos analizados

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Gévora, afluente transfronterizo del Guadiana, con una superficie aproximada de 2184 km². La cuenca presenta un gradiente altitudinal acusado, con predominio de usos forestales en cabecera, zonas agrícolas de regadío y núcleos urbanos potencialmente expuestos a avenidas. La dinámica hidrológica se encuentra parcialmente condicionada por la presa de Villar del Rey, cuya gestión influye en la propagación de avenidas (Fig. 1). Los eventos recientes, como la inundación del 13 de diciembre de 2022 asociada a precipitaciones superiores a 80 mm en 24 horas, evidencian la necesidad de mejorar los sistemas de alerta temprana y de planificación preventiva.

Se estudiaron seis eventos de crecida significativos ocurridos entre 2016 y 2024, asociados a precipitaciones intensas y registrados en la estación de aforo CR2-45. Los caudales medios diarios oscilaron entre 52.7 m³/s y 412.7 m³/s, destacando el episodio del 13–14/12/2022 (Qp = 687 m³/s) y el del 10–11/03/2018 (Qp = 456 m³/s).

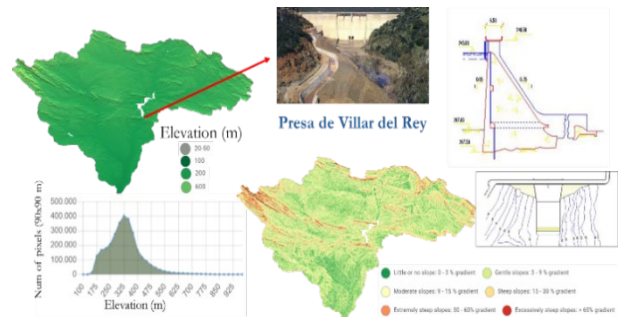


Figura 1. Modelo digital de elevaciones y mapa de pendientes de la cuenca del río Gévora, con localización y esquema de la presa de Villar del Rey

Estos eventos permiten cubrir un rango amplio de magnitudes hidrológicas, incluyendo valores próximos a periodos de retorno intermedios (T10–T25), según los caudales extremos disponibles. El análisis comparativo entre estaciones aguas arriba (CR2-55) y aguas abajo (CR2-45) permitió evaluar la atenuación y propagación de caudales, así como establecer umbrales hidrológicos asociados a desbordamientos efectivos.

Finalmente, se seleccionó el evento del 10/03/2018 como caso de estudio principal, tanto por la magnitud representativa de su caudal pico como por la disponibilidad de imágenes Sentinel-1 coincidentes con el desarrollo del episodio.

2.2. Datos de teledetección y preprocesado SAR

Se emplearon imágenes Sentinel-1, adquiridas en órbitas ascendentes y descendentes durante las fechas próximas al pico de cada evento. El flujo de preprocesado se implementó en ArcGIS Pro de forma secuencial, la calibración radiométrica de las imágenes la aplicación del archivo orbital preciso para mejorar la exactitud geométrica, la eliminación del ruido térmico y del ruido de borde y, posteriormente, se realizó la conversión a γ^0 del coeficiente de retrodispersión mediante el procedimiento de corrección por relieve, con el fin de compensar los efectos de la topografía en la señal radar. A continuación, se aplicó un filtro de reducción de moteado (filtro de Speckle) para minimizar el ruido granular característico de las imágenes de radar de apertura sintética. Finalmente, se llevó a cabo la corrección geométrica empleando el modelo digital de elevaciones SRTM, garantizando la adecuada georreferenciación y coherencia espacial del producto final.

Las imágenes resultantes se expresaron en decibelios (dB) y se analizaron para ambas polarizaciones (VV y VH) a una resolución espacial de 10 m.

2.3. Delimitación de áreas inundadas y validación

La clasificación binaria inundado/no inundado se fundamentó en la diferencia de mecanismos de retrodispersión entre superficies acuáticas (reflexión especular, baja señal) y superficies terrestres rugosas (retrodispersión difusa, alta señal). Tomando como referencia la extensión de la inundación de T10 años de

la cartografía oficial de zonas de inundables del MITECO, se obtuvieron las estadísticas zonales de las imágenes SAR. Se calcularon, para cada imagen, varios umbrales: valor medio, valor medio \pm desviación estándar y valor medio \pm 2 veces la desviación estándar. Se aplicaron dichos umbrales de retrodispersión para discriminar píxeles inundados y no inundados. La comparación permitió identificar el umbral que presentaba mayor concordancia espacial entre la extensión detectada por SAR y la llanura de inundación oficial, reforzando la fiabilidad del procedimiento.

2.4. Evaluación de la exactitud de la clasificación inundado-no inundado

La evaluación cuantitativa de la clasificación se realizó mediante una matriz de confusión y los indicadores de sensibilidad, que mide la capacidad de detectar correctamente los positivos (área inundada), especificidad, que mide la capacidad de identificar correctamente los negativos (área no inundada) y exactitud global, que mide proporción total de aciertos del modelo. Este análisis resulta particularmente relevante desde la perspectiva preventiva, ya que permite estimar, a partir de previsiones hidrológicas, la probable extensión espacial del impacto.

3. RESULTADOS

3.1. Relación entre caudal y extensión espacial de la inundación

El análisis conjunto de los registros hidrométricos y de las imágenes Sentinel-1 permitió establecer una relación directa entre la magnitud del caudal y la superficie inundada detectada. El evento del 10/03/2018 ($Q_p \approx 450 \text{ m}^3/\text{s}$) evidenció una extensión de inundación coherente con un periodo de retorno aproximado de 10 años, en concordancia con los valores extremos disponibles para la estación aguas arriba. Este comportamiento es consistente con estudios que demuestran relaciones no lineales entre el caudal pico y la extensión de la llanura de inundación, particularmente en cuencas de respuesta rápida (Bates *et al.*, 2018).

3.2. Resultados de la validación para las polarizaciones VV y VH

De los umbrales estudiados, el correspondiente al valor medio fue el que presentó el mejor equilibrio entre sensibilidad y especificidad. La Figura 2 sintetiza los valores obtenidos para la evaluación de la exactitud de la clasificación inundado/no inundado para el evento del 10/03/2018 aplicando un umbral basado en el valor medio, comparando órbitas (ascendente y descendente), coeficientes radiométricos (σ^0 y γ^0) y

polarizaciones (VV y VH). En conjunto, la exactitud global (GA) se mantiene estable y elevada ($\approx 0.80-0.84$), evidenciando un comportamiento robusto del procedimiento y sin diferencias sustanciales entre σ^0 y γ^0 , lo que sugiere un efecto topográfico limitado en el tramo analizado. La sensibilidad (SEN) presenta valores moderados ($\approx 0.43-0.46$), indicando una tendencia conservadora a infraestimar parcialmente la extensión inundada, probablemente asociada a píxeles de transición húmedo-seco y a zonas con vegetación parcialmente anegada que incrementan la retrodispersión. Por el contrario, la especificidad (SPE) es consistentemente alta ($\approx 0.88-0.93$), lo que refleja una excelente capacidad para discriminar áreas no inundadas y minimizar falsos positivos, aspecto clave para aplicaciones operativas de prevención. Finalmente, la polarización VV muestra, de forma sistemática, mayor estabilidad y mejores métricas globales que VH, especialmente en órbita ascendente, confirmando su idoneidad para la delimitación de lámina libre de agua en el entorno de estudio.

Pol. dB	10/03/2018 Ascending orbit			10/03/2018 Descending orbit		
	GA	SEN	SPE	GA	SEN	SPE
sigma0_VV	0.84	0.45	0.93	0.82	0.46	0.91
sigma0_VH	0.80	0.45	0.88	0.82	0.43	0.92
gamma0_VV	0.84	0.45	0.93	0.82	0.46	0.91
gamma0_VH	0.80	0.45	0.88	0.82	0.43	0.92
	variable			variable		

Figura 2. Exactitud global (GA), sensibilidad (SEN) y especificidad (SPE) de la clasificación inundado/no inundado (umbral medio) para σ^0/γ^0 en VV y VH, en órbitas descendente y ascendente (10/03/2018).

El análisis comparativo de polarizaciones evidenció diferencias relevantes en términos de sensibilidad (SEN), especificidad (SPE) y exactitud global (GA). La polarización VV presentó valores de exactitud global superiores a 0.80 en los eventos analizados, con elevados niveles de especificidad, lo que indica una adecuada discriminación entre superficies inundadas y no inundadas. La Figura 3 muestra el coeficiente de retrodispersión γ^0 en polarización VV (órb. ascendente), la delimitación obtenida mediante el establecimiento del umbral y la distribución espacial de la matriz de confusión derivada de la comparación con la cartografía oficial de riesgo de inundación. Clement *et al.* (2018) también señalan que la retrodispersión en polarización VV ofrece mayor estabilidad en la detección de superficies abiertas de agua, especialmente en entornos agrícolas y de baja rugosidad superficial.

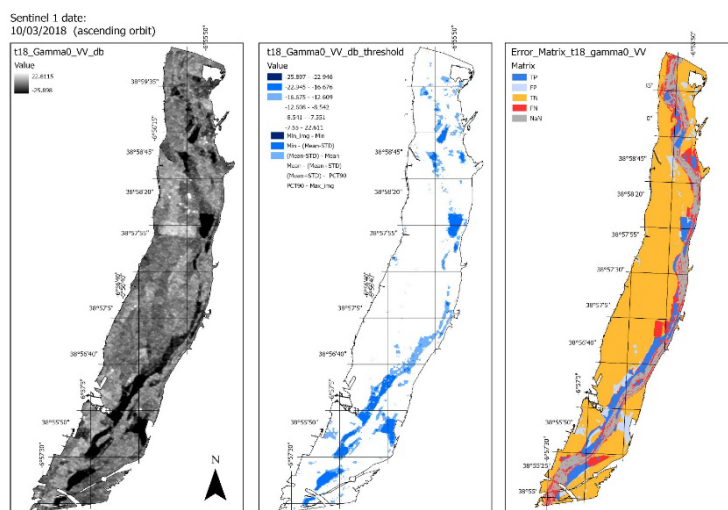


Figura 3. γ^0 -VV, clasificación de inundación y matriz espacial de errores para el evento del 10/03/2018 (órbita ascendente).

La elección del umbral basado en el valor medio de retrodispersión proporcionó el mejor equilibrio entre sensibilidad y especificidad, en línea con metodologías automatizadas de cartografía rápida de inundaciones desarrolladas a partir de Sentinel-1 (Twele *et al.*, 2016).

La comparación espacial entre la delimitación obtenida mediante SAR y la cartografía oficial de zonas de inundables del MITECO mostró una elevada coherencia geométrica para el evento de referencia (Q asociado a T10). Este resultado respalda la utilidad de la teledetección como herramienta de validación y calibración la extensión de zonas inundables obtenidas a partir de modelos hidráulicos, aspecto ampliamente discutido en la literatura reciente (Domeneghetti *et al.*, 2019). La superposición con cartografía oficial de zonas inundables confirmó que la extensión observada en eventos recientes se corresponde con áreas previamente identificadas como de riesgo alto o medio. Esta concordancia ha sido previamente identificada en estudios que demuestran que la integración de observaciones satelitales en tiempo casi real mejora la actualización de mapas de peligrosidad y reduce la incertidumbre en escenarios de cambio climático (Bates *et al.*, 2018; Tellman *et al.*, 2021).

4. CONCLUSIONES

La evaluación de distintas configuraciones de imágenes SAR Sentinel-1 aplicada a una crecida fluvial significativa en la cuenca del río Gévora ha permitido comprobar la elevada robustez clasificatoria del enfoque para la delimitación de áreas inundadas. El análisis comparativo evidenció una consistencia clasificatoria elevada entre coeficientes radiométricos y geometrías orbitales, así como diferencias relevantes asociadas a la polarización empleada. En este sentido, la polarización VV mostró un comportamiento más equilibrado en términos de sensibilidad, especificidad y exactitud global, consolidándose como la configuración más adecuada para aplicaciones operativas de cartografía de inundaciones en el área de estudio.

Más allá de validar delimitaciones espaciales, el procedimiento desarrollado permite anticipar escenarios

potenciales de afección, optimizar la planificación preventiva y mejorar la toma de decisiones en contextos de incertidumbre hidrológica creciente.

5. REFERENCIAS

- Bates, P. D., Quinn, N., Sampson, C. C., Smith, A. M., Wing, O. E. J., Sosa, J., Savage, J., Olcese, G., Neal, J. C., & Krajewski, W. F. (2018). Combined modeling of US fluvial, pluvial, and coastal flood hazard under current and future climates. *Water Resources Research*, 54(12), 10215–10236. <https://doi.org/10.1029/2018WR023675>
- Clement, M. A., Kilsby, C. G., & Moore, P. (2018). Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. *Journal of Flood Risk Management*, 11(S1), S152–S168. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12303>
- Domeneghetti, A., Schumann, G. J. P., & Bates, P. D. (2019). Assimilation of remote sensing data into flood inundation models: A review. *Remote Sensing*, 11(9), 1047. <https://doi.org/10.3390/rs11091047>
- Lee, J. S., & Pottier, E. (2017). *Polarimetric radar imaging: from basics to applications*. CRC press.
- Richards, J. A. (2009). *Remote sensing with imaging radar* (Vol. 1, pp. 172-173). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Schumann, G. J. P., & Moller, D. K. (2015). Microwave remote sensing of flood inundation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83–84, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.05.002>
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596, 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- Twele, A., Cao, W., Plank, S., & Martinis, S. (2016). Sentinel-1-based flood mapping: A fully automated processing chain. *International Journal of Remote Sensing*, 37(13), 2990–3004. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304>