

EL USO DE IMÁGENES IKONOS PARA LA CARTOGRAFÍA DE RIESGO DE INUNDACIÓN EN PEQUEÑAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS

LÓPEZ-GARCÍA, M. J.; CARMONA, P.; RUÍZ, J. M.;
CAMARASA, A. M.

Departament de Geografia. Universitat de València
Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia.

Maria.j.lopez@uv.es, pilar.carmona@uv.es, jose.m.ruiz-perez@uv.es, ana.camarasa@uv.es

RESUMEN

La confección de una cartografía efectiva de riesgo de inundación precisa de la elaboración previa de mapas de peligro, que recojan las zonas sometidas a los procesos naturales asociados a la crecida. Para ello resulta muy útil el estudio de las áreas afectadas en sucesos concretos. El uso de la teledetección se ha demostrado altamente eficaz en grandes cuencas, afectadas por procesos de inundación extensivos y llanuras bien definidas, pero en pequeñas cuencas mediterráneas, donde los espacios inundables son de índole variada, pequeña dimensión y rápido drenaje, no siempre ha sido eficaz. Las imágenes de muy alta resolución (Ikonos, Quickbird) constituyen una alternativa viable para la detección de las zonas afectadas en pequeñas cuencas. Este trabajo presenta un ejemplo de uso de una imagen Ikonos para el análisis de las zonas inundadas durante el suceso de octubre del año 2000 en la Rambla de Poyo - Barranc de Torrent. Esta cuenca tiene una dimensión de 462 km², desemboca en la Albufera y presenta varias zonas inundables que afectan al área metropolitana de Valencia. El suceso de octubre del 2000 produjo una crecida de más de 500 m³/s que dio lugar a problemas de inundación, referenciados, en su día, mediante trabajo de campo y fotografía oblicua. El análisis visual de la imagen Ikonos permite establecer, de una manera rápida y completa, la extensión de la zona inundada, así como inferir los principales procesos de rotura en cauce, derrame y desbordamiento, asociados a la crecida.

Palabras clave

Imágenes Ikonos, cartografía de peligro, riesgo de inundación, cuencas mediterráneas.

ABSTRACT

Before creating a map of effective flood risk it is necessary to first create a hazard map that identifies those areas subject to the natural processes associated with flood events. The study of affected areas during particular events can be very useful for producing such maps and remote sensing has been shown to be a highly effective tool for performing this task for large basins affected by extensive flood processes over well-defined flood plains. However, for the case of small Mediterranean basins, where the floodable areas are small and very variable, and where drainage occurs rapidly, the use of satellite images has been less effective. The very high-resolution images (Ikonos, Quickbird) constitute a viable alternative for detecting affected areas in small basins. This paper provides an example of the use of an Ikonos image for the analysis of the flooded areas during the flood event in October 2000 in the Rambla de Poyo – Barranc de Torrent (Valencia, Spain). This basin, covering an area of 462 km², drains into the Albufera coastal lagoon, and includes several floodable areas within the metropolitan area of the city of Valencia. During the event of October 2000, currents of more than 500 m³/s produced problems related to flooding which, at the time, were recorded using fieldwork and oblique photography. The visual analysis of the Ikonos image allowed us to establish, rapidly and comprehensively, the extent of the flood area as well as to infer the principal processes of channel failure, leakage and overflow associated with the flood.

Key words

Ikonos image, hazard map, flood risk, Mediterranean basins.

INTRODUCCIÓN

La cartografía de riesgo de inundación constituye un elemento básico para la gestión de los espacios afectados por avenidas fluviales. En su realización se combina información sobre el peligro natural que presenta una zona y la vulnerabilidad de las sociedades expuestas teniendo en cuenta la ocupación de los distintos espacios. Se trata de una cartografía de síntesis cuya elaboración requiere conocimientos hidrológicos, geomorfológicos, hidráulicos y socio-económicos (Mateu, 1989; Pita *et al.*, 1999). Es importante diferenciar entre “cartografía de peligro”, aquella que hace referencia al suceso físico responsable de la inundación y que muestra la magnitud y frecuencia de los valores extremos y “cartografía de riesgo” que incluye, además del peligro natural, el grado de exposición de la población y su adaptación al peligro natural (Camarasa *et al.*, 2001).

Para la elaboración de los mapas de peligro se analizan sucesos hidrológicos extremos, con objeto de obtener información acerca de la magnitud y frecuencia de los mismos. En muchas ocasiones estos estudios toman como referencia los espacios afectados por un evento concreto, sobre todo si constituye un episodio de alta magnitud y baja frecuencia. En España, existe una considerable producción de mapas de peligro elaborados con metodologías diversas (Díez y Pujadas, 2002) aunque la mayoría utilizan la cartografía de espacios inundados. Los mapas de inundación tratan de identificar las zonas afectadas y de determinar, de forma precisa, la altura alcanzada por el agua, para lo cual tradicionalmente se emplea la simulación hidráulica (Francés *et al.*, 2000) el reconocimiento de campo y la interpretación de fotografías aéreas tomadas en el momento álgido de la avenida (La Roca y Carmona, 1983; García Ruiz *et al.*, 1996, entre otros). Las técnicas de teledetección espacial constituyen una alternativa a la fotografía aérea que no siempre ha sido utilizada ya sea por el desconocimiento de sus capacidades o por la escala de trabajo requerida.

Las primeras aplicaciones de imágenes espaciales para la cartografía de inundación se remonta a la década de los 70 con los datos proporcionados por el satélite Landsat (Rango y Salomonson, 1974; Rango y Anderson, 1974). Se trataba de estudios en grandes cuencas que utilizaban sensores pasivos, (en concreto, la banda 7 (infrarrojo próximo) del Multi-Spectral Scanner (MSS) con resolución de 80 m) para delimitar las zonas cubiertas de agua tras una inundación. Desde entonces, los avances en los sensores han incrementado la potencialidad de los satélites para la cartografía de espacios inundados (véase la revisión de Smith (1997)).

Sin embargo, el uso de la teledetección espacial para la cartografía de inundaciones presenta dos limitaciones: i) la resolución espacial de las imágenes y ii) la frecuente presencia de nubes sobre las zonas afectadas por la inundación. El primer problema es fundamental ya que, durante décadas ha limitado el uso de imágenes espaciales en pequeñas cuencas. En el segundo caso, la proliferación en los años 90 de los sistemas de radar -que trabajan en el intervalo espectral de las microondas- a bordo de plataformas espaciales ha permitido el uso de la teledetección en los momentos en que las zonas afectadas se encuentran cubiertas de nubes.

La mejora en la resolución espacial de los sensores en la década de los 80 y 90 (30 m para el Thematic Mapper del Landsat 4 y 5; 20 y 10 m en el HRV de la serie SPOT; 6 m en el sensor Pancromático del IRS), amplió la capacidad de aplicación de las

imágenes ópticas utilizadas en muchos casos en combinación con datos SAR (Tholey *et al.*, 1997). Sin embargo, en el caso de pequeñas cuencas mediterráneas el uso de la teledetección no ha sido posible hasta el reciente desarrollo de los sensores de muy alta resolución espacial como el Ikonos o el Quickbird, con pixels de 1 m o tamaño inferior.

Este trabajo analiza la utilidad de las imágenes Ikonos para la cartografía de zonas inundables en la llanura de inundación del Bco de Torrent-Rambla del Poyo, una cuenca de reducidas dimensiones situada al suroeste de la ciudad de Valencia. Esta cuenca constituye un ejemplo típico de sistema torrencial mediterráneo, donde las avenidas acarrearán gran cantidad de sedimento. En el mes de octubre del año 2000, la rambla se vió afectada por una crecida de alta magnitud, que produjo problemas de inundación, asociados, en su mayoría, a rupturas en los diques del cauce principal y transferencia de agua y sedimentos a la llanura.

Dos meses después, los derrames son plenamente identificables en la imagen Ikonos, pese a que, en estos ambientes, los procesos de inundación y drenaje son relativamente rápidos. Mediante interpretación visual de la imagen, se identificaron los puntos de ruptura de los diques y la dirección de los flujos desbordados, a partir de la traza de sedimentos de diferente granulometría. Estos resultados fueron corroborados mediante reconocimiento de campo y análisis geomorfológico.

LA CRECIDA DE OCTUBRE DEL 2000 EN LA RAMBLA DE POYO-BARRANC DE TORRENT

La rambla de Poyo (462 km²) se sitúa en las últimas estribaciones orientales del Sistema Ibérico, en el sector valenciano, próximo a la ciudad de Valencia por el sur. Tiene su origen en la Sierra de los Bosques y desemboca en la Albufera de Valencia, donde toma el nombre de Barranc de Torrent (Figura 1). Constituye un sistema fluvial típico mediterráneo, de circulación efímera, sometido a crecidas de tipo *flash-flood*, capaces de generar enormes picos de crecida en muy poco tiempo, como ocurrió durante el suceso de 11-12 de noviembre de 1988 (Camarasa, 1995).

Durante los días 20 a 25 de octubre del 2000, el litoral de la Comunidad Valenciana se vio afectado por uno de los episodios torrenciales más importantes acaecidos en el último siglo. Una situación meteorológica de gota fría en altura, combinada con vientos del este en superficie, generó un episodio de lluvias intensas y continuadas, que afectó a la Rambla de Poyo, entre los días 22 y 24.

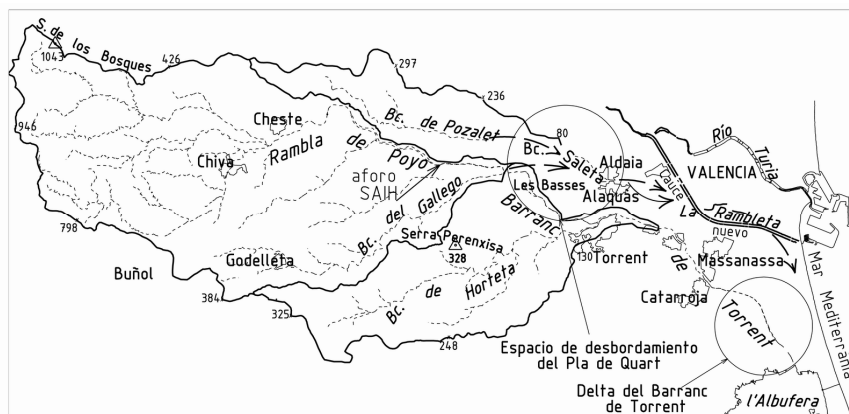


Figura 1. Localización del Barranc de Torrent-Rambla de Poyo. Sobre el mapa se indica la llanura deltaica en la Albufera de Valencia.

Según los datos del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) que afectan a la cuenca, durante estos días se llegaron a acumular más de 395 mm en algunos puntos (Rambla de Poyo -0004-), con intensidades cincominutales superiores a 150 mm/h (Picassent -0L01-). La cuenca alta (Siete Aguas -0P05-) registró la mayor cantidad de lluvia en los días 22 y 24, mientras que en la cuenca baja (pluviómetros de Repartiment -0E02- y Valencia -0S01-), las mayores intensidades ocurren el día 24.

Estas lluvias, generaron una crecida múltiple, con tres picos, tal como se puede observar en el hidrograma de la figura 2. El primer pico de crecida presentó un caudal de $415 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y tuvo lugar el día 22 a las 14:55h. El segundo pico, de menor cuantía, $206 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ocurrió al día siguiente, sobre las 00:05h. El último se registró el día 24, entre las 3:50 y las 4:00 h, y fue el de mayor magnitud $527 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

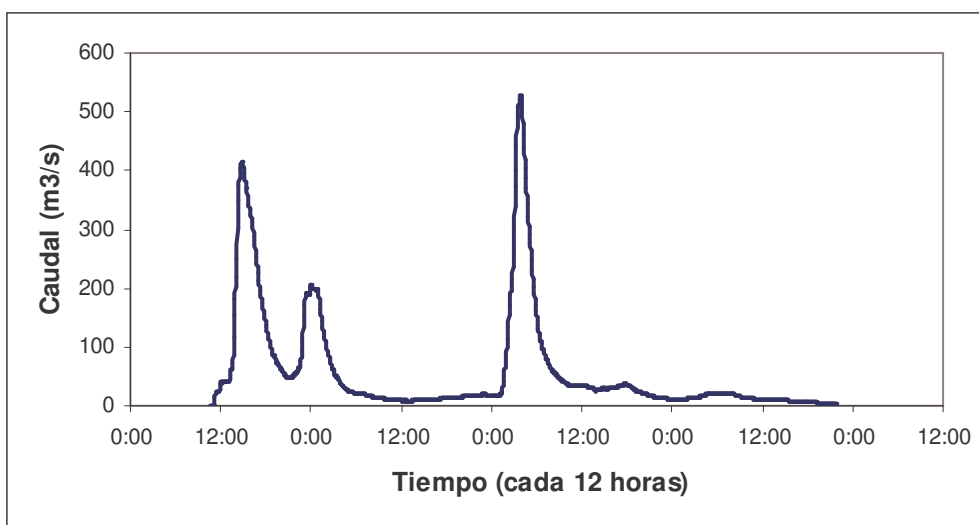


Figura 2. Hidrograma de Rambla de Poyo de los días 22 a 24 de octubre de 2000

Desde el punto de vista del riesgo hidrológico es importante resaltar algunos aspectos. En primer lugar, respecto a los procesos de generación de la avenida, el caudal punta más importante tiene lugar el día 24, tras dos picos previos, que ya habían satisfecho gran parte de las pérdidas por infiltración y transmisión en el canal. En segundo lugar, respecto a los procesos que afectan directamente a la zona inundable, las lluvias más intensas en la cuenca baja se producen también el día 24, tras dos días de tormenta, durante los cuales se había saturado el suelo, de modo que los procesos de producción de escorrentía superficial son mucho más rápidos y efectivos.

Todo ello potenció los fenómenos de inundación en diversos espacios de la cuenca. En este artículo se describen los procesos de desbordamiento en el tramo final del Barranc de Torrent, un espacio deltaico en el entorno de la Albufera de Valencia hacia el cual se canalizó la avenida.

METODOLOGÍA

La escala de trabajo necesaria para identificar procesos de desbordamiento en pequeñas cuencas mediterráneas hace necesario análisis detallados en campo, puesto que no siempre se dispone de vuelos aéreos tras una inundación, y el proceso de drenaje en estos sistemas es bastante rápido. El método de trabajo empleado consistió en el análisis geomorfológico de los espacios de desbordamiento y el reconocimiento de la

morfología de los cauces y diques mediante una serie de campañas de campo realizadas tras la inundación. Paralelamente, se utilizaron técnicas de fotointerpretación a partir de una imagen Ikonos, con objeto de comparar la cartografía obtenida por el reconocimiento de campo con la que proporciona la imagen. La fotointerpretación fue realizada por un analista diferente al equipo de trabajo encargado del reconocimiento de campo con objeto de no condicionar la interpretación.

a) Trabajo de campo

En las fechas posteriores al suceso se realizaron varias campañas de campo para obtener un reconocimiento exhaustivo de la zona afectada. Se realizaron un muestreo de 143 puntos de los cuales se describió la potencia, forma y estructura de los sedimentos dejados por la inundación, las direcciones de flujos y calados de agua, los procesos de rotura de los diques artificiales (*cascading, piping, colapsos, crevassing*). También se realizaron análisis de textura en algunas muestras seleccionadas. Esta información fue georeferenciada e introducida en un SIG, de cara a la posterior elaboración de una cartografía de riesgo.

b) Fotointerpretación de imágenes

Se utilizó una imagen Ikonos del día 23 de diciembre del 2000, esto es, dos meses después del suceso. El satélite Ikonos proporciona imágenes de muy alta resolución, tanto en la banda pancromática (1 m) como multiespectral (4 m). Es un satélite comercial puesto en órbita en septiembre de 1999 por la empresa Space Imaging y, dado que no se realiza un registro sistemático de imágenes, no fue posible disponer, a posteriori, de imágenes en fechas más cercanas al suceso. Se trataron las bandas multiespectrales y pancromáticas, aunque para la interpretación se optó por la banda pancromática por su mejor resolución.

El tratamiento de la imagen fue llevado a cabo con el software IDRISI 32 y la interpretación y digitalización de los derrames mediante el software Arc View. El proceso de imagen consistió en los tratamientos siguientes:

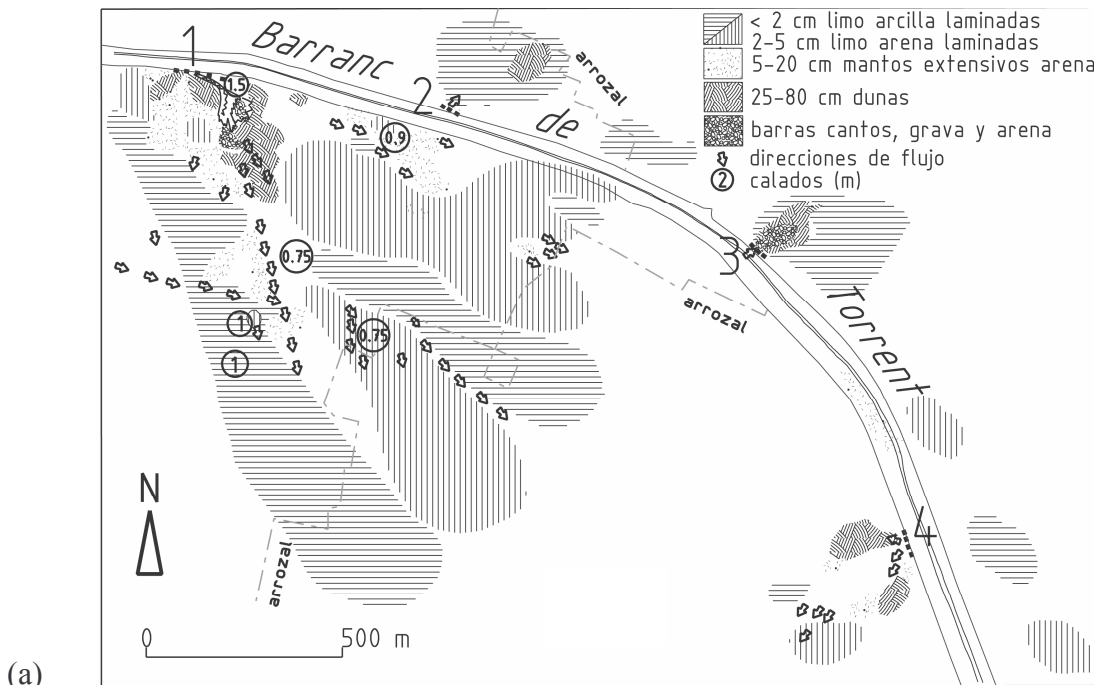
- composición color de las bandas multiespectrales y realce de la banda pancromática
- corrección geométrica mediante puntos de control respecto a un mapa digital 1/10.000
- identificación y digitalización sobre pantalla de los espacios de desbordamiento

RECONOCIMIENTO DE ESPACIOS DE DESBORDAMIENTO

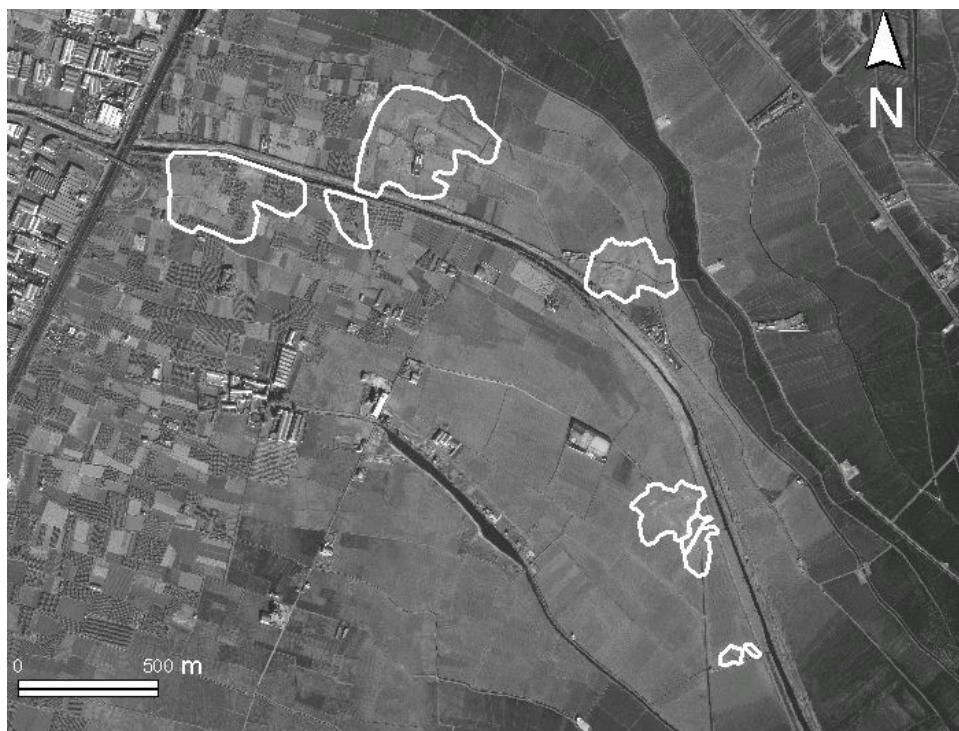
La crecida de octubre de 2000 ofreció una oportunidad excelente para cartografiar y evaluar los aportes sedimentarios del Barranc de Torrent hacia el entorno deltaico de la Albufera. Los datos de campo permitieron analizar el proceso de inundación desde una perspectiva hidrogeomorfológica y sedimentológica, ya que se evaluaron volúmenes de sedimentos y se describieron sus características texturales y morfológicas, identificando la transmisión del sedimento grueso (arena) desde el cauce hacia el ámbito deltaico (Ruiz y Carmona, 2004).

En la Figura 3 (a) se presenta un mapa en el que se han señalado los derrames identificados y analizados a partir del muestreo en campo. La figura 3 (b) muestra la

imagen Ikonos de la misma zona obtenida dos meses después del suceso, sobre la cual se indica los espacios de desbordamiento que se pudieron identificar. Pese a que la interpretación de la imagen fue realizada por un analista diferente, han se pudieron identificar los mismos derrames registrados en campo.



(a)



(b)

Figura 3. Identificación de los derrames por trabajo de campo (a) y por interpretación sobre la imagen ikonos (b).

Durante los trabajos de campo se reconocieron 4 grandes brechas abiertas por la crecida en los diques, por las que salió el flujo sobreexcavando el suelo de las parcelas de cultivo adyacentes. En la primera brecha se excavó un *crevasse channel* de varias decenas de metros de recorrido y hasta 1,5 m de profundidad. La carga sólida derivada del cauce se distribuyó en los derrames arenosos localizados en la figura 3 a. Identificamos 5 unidades sedimentarias: a) derrames de barras de arenas y gravas extensivas (espesor de varios decímetros); b) dunas de arena, a veces con pasadas de grava (25-80 cm de espesor) con estratificación cruzada planar; c) mantos extensivos de arena laminada con *ripples* en superficie (5-20 cm de espesor); d) limos y arenas finas laminadas (2-5 cm de espesor) y e) limo-arcilla, a veces con arena fina laminada (potencia <2 cm). En la distribución espacial del sedimento se diferencian tres sectores, proximal, media y distal. En las áreas proximales, se depositaron gravas procedentes de la erosión del substrato. También fueron arrastrados fragmentos decimétricos del dique compuesto por sedimentos cohesivos y arena. Las dunas y los mantos extensivos arenosos más potentes aparecen en puntos cercanos a las brechas. La morfología de los depósitos era variable según la rugosidad del terreno, cambiante a causa de los diferentes tipos de cultivo. Las dunas más potentes aparecieron a sotavento de obstáculos. Donde la rugosidad era menor la capa de arenas era más extensa y el espesor más homogéneo, acabando en frentes o crestas abruptos. En el área media del derrame alternan capas arenosas orientadas según las direcciones de flujo con mantos extensivos de limo y arena fina. Las partes distales de los derrames son mucho más extensas y se extendían hasta 1.500 metros en el área de la primera brecha (Ruiz y Carmona, 2004).

Pese a que la imagen Ikonos fue tomada 2 meses después de la crecida, todavía pudieron identificarse las rupturas del canal y los 4 derrames detectados en las campañas de campo. No obstante se observan algunas diferencias entre la cartografía de campo y la imagen, como ocurre en el derrame número 1, de mayor extensión. En la imagen apenas se llega a identificar el sector distal debido a que, en esta zona, la sedimentación es mínima, producida por decantación, y apenas queda huella sobre el terreno dos meses después. Las zonas proximales y medias, donde la potencia de sedimentos es mayor se identifica mejor sobre la imagen.

La figura 4 corresponde a un sector de la imagen Ikonos que muestra los detalles del derrame identificado con el número 4 en la Figura 3. Se observa la ruptura de la orilla del cauce principal y la extensión de los sedimentos en una zona que llega hasta 200 m de distancia del cauce, afectando a los lindes de las parcelas y a las edificaciones del entorno.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A menudo el uso de imágenes de satélite para la cartografía de zonas inundables se ha orientado a la delimitación de la zona anegada, bien mediante análisis digital (discriminando superficies de agua), bien mediante interpretación visual. Este uso se ha demostrado muy eficaz en llanuras de grandes dimensiones y bajas pendientes, donde los procesos de drenaje son lentos. Así, en la llanura del Río Limpopo (Mozambique), la zona afectada por la inundación del año 2000 pudo ser delimitada a partir de la interpretación de una imagen de Radarsat 1 (Dgedge, 2004).

Sin embargo, en el caso de pequeñas cuencas mediterráneas, tanto la escala como los procesos vuelven bastante inviable este planteamiento, ya que las inundaciones son

muy puntuales, afectan a espacios reducidos y el drenaje es bastante rápido, por lo que la zona anegada no se mantiene cubierta de agua suficiente tiempo para ser detectada a partir de sensores remotos. En este contexto, en lugar de intentar discriminar los espacios anegados, el analista debería dirigir sus esfuerzos a identificar la traza geomorfológica de la inundación, tanto en su morfología erosiva (ruptura de diques, erosión de abanicos, inestabilidad de márgenes, etc.), como de acumulación (sedimentos transferidos a las llanuras).



Figura 4. Detalle de la imagen Ikonos mostrando la interpretación del derrame número 3. Ruptura del dique y dirección del derrame hacia la llanura. Las cruces indican las pequeñas rupturas en los límites del parcelario.

La imagen Ikonos, debido a la alta resolución que proporciona, se ha demostrado como una eficaz herramienta ya que ha permitido identificar los puntos de ruptura y los derrames producidos por la crecida, incluso dos meses después de la inundación. Solamente en las partes distales de los derrames, donde los sedimentos son más finos y fáciles de asimilar en las parcelas de cultivo, no se ha identificado la huella de los sedimentos en la imagen.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto REN2003-07171 “Riesgo de Inundación en Ramblas Mediterráneas. Umbrales hidrogeomorfológicos de crecida”, cofinanciado por fondos FEDER. Agradecemos la colaboración prestada por el Servicio Automático de Información Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

BIBLIOGRAFÍA

- Camarasa, A. M. (1995): “*Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo*”. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- Camarasa, A.M.; Chuvieco, E. y Salas, J. (2001): “*Información geográfica y riesgos naturales. El campo de las ciencias y las artes*”. Madrid. 138. 103-136.
- Díez Herrero, A. y Pujadas, J. (2002): “Mapas de riesgos de inundaciones”. En F. Ayala-Carcedo y J. Olcina (coord.) *Riesgos Naturales*. Ed Ariel, 997-1012.
- Dgedge, G.S. (2004): “*El riesgo de inundación en el Bajo Limpopo (Mozambique)*”, Tesis doctoral inédita, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, 381 p.
- Francés, F.; Marco, J. y Llorens, V. (2000): “Un ejemplo de análisis regional del riesgo de inundación en el marco de la planificación territorial”, *Serie Geográfica*, 9. 237-248.
- García-Ruiz, J.M.; White, S.M.; Martí, C.; Valero, B. Errea, M.P. y Gómez, A. (1996): “*La Catástrofe del Barranco de Aras (Biescas, Pirineo Aragonés) y su Conexión Espacio-Temporal*”, Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza, 54 p.
- La Roca, N. y Carmona, P. (1983): “Fotointerpretación de la Ribera del Xúquer después de la inundación de octubre de 1982”, *Cuadernos de Geografía*, 32-33, 121-136.
- Mateu, J.F. (1989): “Crecidas e inundaciones”, en: *Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, 565-608
- Pita, M.F.; Caravaca, I; Feria, F.M.; Tarin, A. y Vallejo, I. (1999): *Riesgos Catastróficos y Ordenación del Territorio en Andalucía*, Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transportes, 225 p.
- Rango, A. Y Salomonson, V.V. (1974): “Regional flood mapping from space”, *Water Resources Research*, 10 (3), 473-484.
- Rango, A.y Anderson, A.T. (1974): “Flood hazard studies in the Mississippi River basin using remote sensing”, *Water Resources Bulletin*, 10 (5), 1060-1081.
- Ruiz, J.M. y Carmona, P. (2004): “Flujos y sedimentos de inundación (octubre del 2000) en el entorno de la Albufera de Valencia”, *Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología*, Toledo, 59-67 pp.
- Smith, L.C. (1997): “Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review”, *Hydrological Proceses* 11, 1427-1439.
- Tholey, N., Clandillon, S. y De Fraipont P. (1997): “The contribution of spaceborne SAR and optical data in monitoring flood events: examples in northern and southern France”, *Hydrological Proceses* 11, 1409-1413.

