

Fernández de Sevilla, T. (2010): Utilización de la tecnología Terrasar-X para la determinación de zonas inundadas en fase de emergencia. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 830-840. ISBN: 978-84-472-1294-1

## UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA TERRASAR-X PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDADAS EN FASE DE EMERGENCIA

Tomás Fernández de Sevilla<sup>1</sup>

(1) Infoterra SGSA, Paseo de la Castellana 149, 1ª planta. 28046 Madrid. España. tomas.sevilla@infoterra.es

### RESUMEN

Las técnicas de Observación de la Tierra en el contexto de la gestión de los desastres naturales han tenido un crecimiento importante en los últimos años. Para ser una herramienta eficaz en las fases de crisis o post-crisis deben poder ofrecer información inmediata en tiempo casi real y los resultados deben cumplir unos estándares que permitan una integración máxima con otras fuentes de información. Infoterra es una empresa de geoinformación global que actualmente tiene operativos este tipo de servicios.

A principios del año 2010, Infoterra desarrolló uno proyecto de estas características para la empresa EGMASA y la Consejería de Medioambiente de la Junta de Andalucía. El objetivo del proyecto era delimitar y cartografiar en la fase de emergencia, las zonas inundadas debido a las lluvias persistentes con cobertura nubosa permanente durante varias semanas en la cuenca del Río Guadalquivir entre los días 27 de febrero y 8 de Marzo de 2010.

El presente artículo desarrolla la metodología seguida utilizando la tecnología del satélite RADAR de apertura sintética TerraSAR-X y los resultados obtenidos.

Palabras Clave: Inundaciones, TerraSAR-X, cartografía, emergencia

### ABSTRACT

*Earth Observation techniques is increasing its relevance during the latest years for managing natural disasters. To be an effective tool in the early stages of crisis or post-crisis should be able to provide immediate feedback in near real time and results must meet certain standards to allow maximum integration with other sources of information. Infoterra is a global geo-information company is currently operating such services.*

*In early 2010, Infoterra developed a project of this kind for the company EGMASA and the Department of Environment of the Junta de Andalucía. The project's objective was to define and map in the emergency phase, the flooded areas because of torrential rain with permanent cloud cover for several weeks in the Guadalquivir River basin between 27 February and 8 March 2010.*

*This article develops the methodology using the technology of synthetic aperture radar satellite TerraSAR-X and the results obtained.*

*Keywords: Flooding, TerraSAR-X, mapping, emergency*

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas de Observación de la Tierra en el contexto de la gestión de los desastres naturales han tenido un crecimiento importante en los últimos años. La comunidad científica prevé un incremento en la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, inundaciones y vendavales. Especialmente, las inundaciones afectan a más de 520 millones de personas y están causando hasta 25.000 muertes al año en el mundo, destrucción masiva de hogares, epidemias y otros serios daños (Bogardi, 2004).

El invierno 2009-2010 en la Península Ibérica ha resultado extremadamente húmedo en buena parte del territorio, de forma que la precipitación media ha sido del orden de los 400 mm, el doble del valor medio, y se sitúa como el tercer invierno más lluvioso desde 1947, después de los de los años 1978-79 y 1995-96 (AEMET, 2010). En 2010, en España han sido significativas las inundaciones sufridas en la cuenca del Guadalquivir, Asturias, Bilbao y las Islas Canarias, que han supuesto cuantiosas pérdidas económicas. En Europa, el Sur de Francia, Rumanía y Polonia también se han visto afectados por inundaciones que han provocado decenas de muertes. En China, en lo que va de año 2010, han muerto 392 personas y han desaparecido 143 afectando a 73 millones de personas y 4,6 millones de hectáreas de cultivo.

La observación del territorio utilizando sensores a bordo de satélites es una herramienta eficaz, en fases de crisis o post-crisis de inundaciones, si puede ofrecer información inmediata en tiempo útil y los resultados cumplen unos estándares que permitan su integración con otras fuentes de información. Infoterra es una empresa de geoinformación global que actualmente tiene operativo este tipo de servicio y lo ha puesto en práctica en el proyecto desarrollado en Andalucía a primeros del año 2010.

El objetivo del proyecto era detectar y cartografiar, en la fase de emergencia, las zonas inundadas debido a las lluvias persistentes con cobertura nubosa permanente, durante varias semanas en la cuenca del Río Guadalquivir, en las áreas de Jerez de la Frontera, Lora del Río, Sevilla, Córdoba y Andújar. Para ello, se utilizó la tecnología RADAR del satélite TerraSAR-X, al ser inviable la utilización de satélites ópticos. Las capturas de imágenes se realizaron entre los días 27 de febrero y 8 de Marzo de 2010. Este trabajo ha sido realizado para la empresa EGMASA y la Consejería de Medioambiente de la Junta de Andalucía.

A continuación se expone la metodología de trabajo seguida para este proyecto utilizando la tecnología del satélite RADAR de apertura sintética TerraSAR-X, los resultados obtenidos y posibles alternativas al tratamiento de la información para optimizar los procesos.

## LA MISIÓN TERRASAR-X

TerraSAR-X es el primer satélite desarrollado en el marco de un acuerdo público-privado entre el Centro Espacial Alemán (DLR), en representación de la administración pública, junto a la empresa privada especialista y líder en sistemas satelitales EADS-Astrium, que ha desarrollado y cofinanciado dicho satélite. Infoterra como empresa subsidiaria de EADS-Astrium, tiene los derechos prioritarios de distribución de los productos de TerraSAR-X. El satélite fue lanzado en Junio de 2007 y se encuentra operativo desde inicios de 2008.

La idoneidad del sistema para la delimitación de áreas inundadas se basa en una resolución geométrica máxima de 1 m, corrección radiométrica absoluta, rapidez de acceso a cualquier parte del planeta en un máximo de 2,5 días (2 días con el 95% de probabilidad) en el modo de alta resolución SpotLight (Roth, 2009). La agilidad del sensor permite cambios rápidos en su inclinación para efectuar el apuntamiento que mejor recoge el área de interés, además de la capacidad de poder capturar información de diferentes zonas próximas, permite diferentes modos de captura y polarización adecuadas a cada aplicación. La característica más importante de TerraSAR-X es su sensor activo de apertura sintética radar. La frecuencia de la onda portadora es de 9.65 GHz (banda-X), con una longitud de onda de 3.1 cm, que permite atravesar todas las capas de la atmósfera, incluyendo las nubes. De manera que puede observarse el terreno aunque exista una cobertura nubosa permanente. Lo cual convierte a TerraSAR-X en una importante alternativa en situaciones como las que se describen para poder dar servicio en cualquier parte del mundo, y en especial en zonas tropicales, donde los sensores ópticos tienen reducidas sus ventanas de captura para obtener imágenes sin nubes, o en zonas polares, donde la falta de iluminación solar durante el invierno hacen que la tecnología RADAR sea la única alternativa para capturar imágenes.

**Tabla 1.** Parámetros orbitales de TerraSAR-X

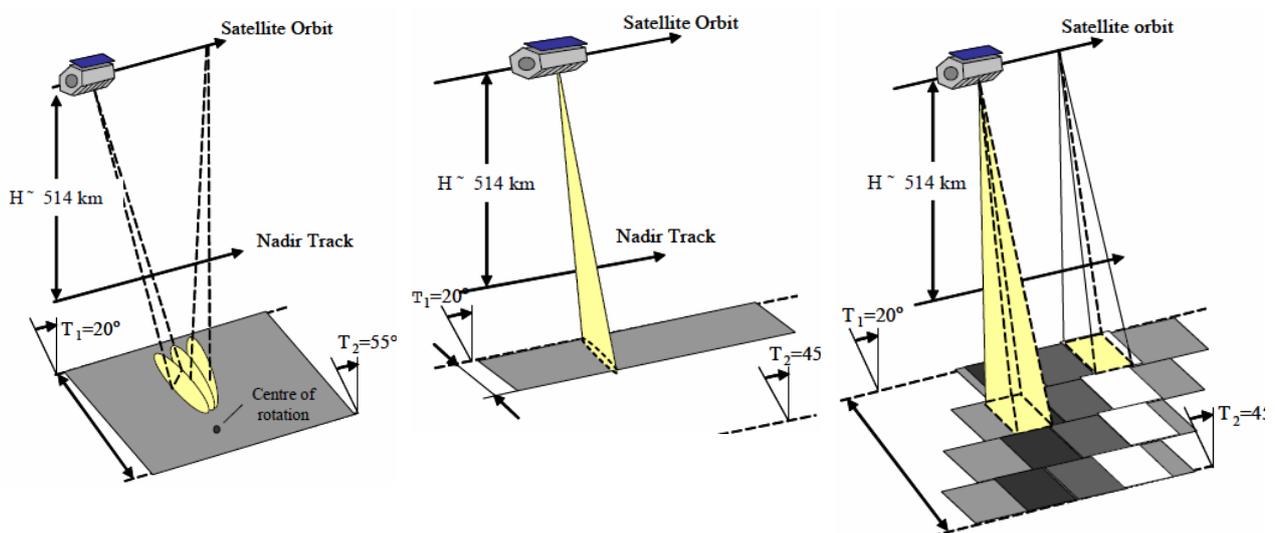
PARÁMETRO	DATOS ORBITALES
Tipo de órbita	Heliosincrónica
Periodo de repetición	11 días
Ciclo de repetición	167 órbitas
Órbitas por día	15+ 2/11
Velocidad	7,6 Km/s
Hora de paso por el Ecuador	Ascendente: 18:00 ± 0.25h Descendente: 6:00 ± 0.25h
Inclinación	97,4438°
Altitud en el Ecuador	514,8 km

Los productos de imagen básicos que genera TerraSAR-X pueden ser capturados en tres modos diferentes:

- SpotLight: 1 m de resolución máxima, escenas con tamaño de 10 km x 5 km (largo)
- StripMap: 3 m de resolución, con escenas de 30 km x 50 km (largo)
- ScanSAR: 18 m de resolución, con escenas de 100 km x 150 km (largo)

El largo de las escenas StripMap y ScanSAR puede extenderse hasta una longitud máxima de 1.650 km.

Es posible capturar las imágenes en distintas polarizaciones tanto horizontales como verticales, que pueden ser simples, dobles y sus combinaciones.



**Figura 3.** Gráficos que ilustran los 3 modos de captura de TerraSAR-X: SpotLight, StripMap y ScanSAR

Dependiendo del tipo de aplicación, se pueden escoger los siguientes niveles de procesamiento:

- SSC (Single Look Slant Range Complex): Procesamiento aplicando una vista. Se almacena información de la fase y la amplitud de la señal radar recibida un tipo de datos de números complejos. Se trata del formato que contiene la mayor cantidad de información de la señal radar.
- MGD (Multi Look Ground Range Detected): Se aplica un proceso de remuestreo de varias vistas para reducir el efecto denominado "speckle". El "speckle" se refiere al ruido característico producido por la respuesta de la señal radar, donde se observa una estructura de tipo aleatoria en el brillo de los píxeles, causados por la interferencia de las ondas electromagnéticas dispersadas por la superficie de los objetos (Oliver, 1998). Se pueden aplicar filtros para reducir el "speckle", aunque hay algunas aplicaciones en las que es necesaria dicha información. La resolución final son celdas cuadradas con coordenadas orientadas en la dirección de la órbita del satélite. En este tipo de imágenes sólo hay información de la amplitud de la señal.
- GEC (Geocoded Ellipsoid Corrected): Es el producto MGD al que se le ha aplicado una proyección cartográfica, generalmente UTM, utilizando el elipsoide WGS84 y asumiendo una altura promedio.
- EEC (Enhanced Ellipsoid Corrected): Es el producto MGD ortorrectificado, es decir, corregido del efecto de la topografía empleando un modelo digital del terreno de baja resolución, aplicándole una proyección cartográfica, generalmente la proyección UTM con el elipsoide WGS84.

A partir de los productos básicos descritos, se pueden generar una serie de productos derivados que mejoran tanto las características geométricas como radiométricas. Entre ellos destaca el producto ORI-SAR, que tiene las mismas correcciones que el producto EEC, pero se utiliza un modelo digital del terreno de alta resolución y precisión, de manera que el producto ORI-SAR tendrá la máxima precisión en la localización del píxel en el terreno.

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE INUNDACIÓN**

El flujo de trabajo seguido para delimitar las zonas inundadas utilizando la tecnología TerraSAR-X ha sido el siguiente:

- Programación y captura de escenas
- Postproceso y orientación de imágenes StripMap MGD.
- Generación de ortoimágenes TerraSAR-X: Producto ORI-SAR
- Cálculo automático de la máscara de inundación y edición manual
- Generación de productos finales
- Entrega de la información

### **Programación y captura de escenas**

Para realizar la programación del satélite es necesario definir la zona de interés, la fecha de captura, periodo de repetición, resolución de las imágenes, máximo ángulo de incidencia, tipo de aplicación e información detallada sobre el cliente final. La información del cliente final y la aplicación de las imágenes, es necesaria para definir los detalles de la programación, y además para cumplir con la normativa legal que rige sobre las licencias de uso, que podrían estar sujetas a ciertas restricciones.

En el proyecto realizado en la cuenca del Río Guadalquivir para la delimitación de las inundaciones, las zonas de interés se localizaban en las áreas de Jerez de la Frontera, Lora del Río, Sevilla, Córdoba y Andújar. Las capturas se realizarían entre los días 27 de febrero de 2010 y 8 de Marzo de 2010. Hacía 2 semanas que la zona estaba cubierta por nubes, con lluvias permanentes y sólo utilizando un satélite radar se podría observar el territorio afectado de forma global y precisa.



Figura 4. Gráfico de las áreas de interés en la cuenca del Río Guadalquivir

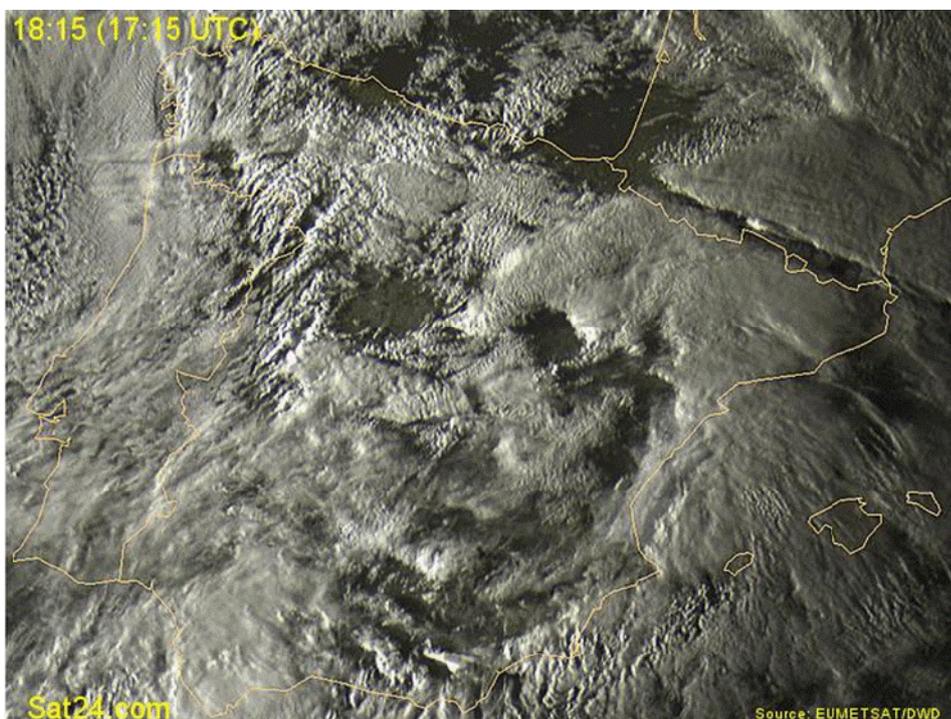


Figura 5. Imagen del satélite Meteosat del día 27 de Febrero de 2010 a las 18:15h capturada al mismo tiempo que se estaban tomando las primeras imágenes del proyecto con TerraSAR-X. Ese mismo día tuvo lugar el fenómeno meteorológico denominado "Ciclogénesis explosiva".

El periodo de revisita del satélite TerraSAR-X es de 11 días, lo cual supone el paso exacto por la vertical del mismo punto. No obstante, para el tipo de aplicaciones de este proyecto no es necesario esperar al ciclo completo de revisita para obtener información de una misma zona de interés. Utilizando pasos por órbitas adyacentes, o pasos de órbitas ascendentes o descendentes complementarias, es posible capturar la información de una misma zona cada 3,5 días en lugares con latitud entre 40°-45°.

En este proyecto la petición del servicio y la programación del satélite se realizó sólo 24 h antes de la captura, ante el estado de emergencia en la zona.

Para proyectos de inundaciones existe la posibilidad de utilizar imágenes en modo StripMap o ScanSAR. Para este caso se seleccionó el modo StripMap de 3 m de resolución geométrica con una cobertura de 50 km x 30 km, ya que uno de los objetivos era delimitar las zonas inundadas con la mayor precisión y resolución geométrica posible. Aunque la cobertura de las imágenes ScanSAR es de 100 km x 150 km, tiene una resolución inferior de 18 m. Las imágenes se capturan con una polarización horizontal sencilla (HH).

**Tabla 2.** Parámetros de programación TerraSAR-X en las zonas de Lora del Río y Jerez

PARÁMETROS	Escena LORA DEL RÍO	Escena JEREZ
Fecha de Adquisición	2010-02-27 18:14:34.733	2010-02-27 18:14:18.733
Ángulo de incidencia	36.08° - 38.51°	29.64° - 32.41°
Modo de imagen	StripMap: 50x30 km; 3 m	StripMap: 50x30 km; 3 m
Polarización	HH	HH
Tipo de pasada	Ascendente	Ascendente
Tipo de producto	MGD-ORISAR; 2 m	MGD- ORISAR; 2 m
Tipo de resolución	Optimizada geoméricamente	Optimizada geoméricamente

**Tabla 3.** Parámetros de programación TerraSAR-X en las zonas de Sevilla y Córdoba

PARÁMETROS	Escena SEVILLA	Escena CÓRDOBA
Fecha de Adquisición	2010-03-08 06:38:07	2010-03-03 06:29:28
Ángulo de incidencia	19.7° - 23.1°	29.5° - 32.4°
Modo de imagen	StripMap: 50x30 km; 3 m	StripMap: 50x30 km; 3 m
Polarización	HH	HH
Tipo de pasada	Descendente	Descendente
Tipo de producto	MGD- ORISAR 2m	MGD- ORISAR 2m
Tipo de resolución	Optimizada geoméricamente	Optimizada geoméricamente

**Tabla 4.** Parámetros de programación TerraSAR-X en la zona de Andújar

PARÁMETROS	Escena ANDÚJAR	
Fecha de Adquisición	2010-03-05 18:06:15	
Ángulo de incidencia	29.5° - 32.4°	
Modo de imagen	StripMap: 50x30 km; 3 m	
Polarización	HH	
Tipo de pasada	Ascendente	
Tipo de producto	MGD- ORISAR 2m	
Tipo de resolución	Optimizada geoméricamente	

En la tabla 2 se puede apreciar que las escenas capturadas en las zonas de Jerez y Lora del Río se capturaron con tan sólo unas fracciones de segundo de diferencia, lo cual da una idea de la agilidad del satélite TerraSAR-X para cambiar su apuntamiento entre zonas muy próximas.

#### Postproceso y orientación de imágenes en modo StripMap MGD

Las imágenes TerraSAR-X se postprocesaron en modo MGD (Multi Look Ground Range Detected) optimizadas geoméricamente, de manera que se obtuviera la máxima resolución posible. Si se aplicara una optimización radiométrica, la resolución geométrica que se obtiene es de 6 m.

La precisión en el posicionamiento de los píxeles de las imágenes en el terreno depende la precisión en la determinación de la órbita, del modelo digital del terreno utilizado y del ángulo de inclinación de la toma.

Para TerraSAR-X se generan distintos tipos de órbitas. Las órbitas predichas tienen un error de 700 m a lo largo de la dirección de la pasada. En los procesos estándar se utilizan órbitas llamadas Rápidas con una precisión de 2 m (3D,  $1\sigma$ ). Las órbitas más precisas son las denominadas Científicas con una precisión de 20 cm (3D,  $1\sigma$ ). Las órbitas rápidas están disponibles en 15 horas después de que los datos GPS hayan sido transmitidos a la estación terrestre, aunque el Centro Aeroespacial de Alemania (DLR) reporta que en 10 horas están disponibles en la mayoría de los casos. Según especificaciones, el cálculo de las órbitas Científicas estaría disponible en 3 semanas, pero en la práctica se encuentran disponibles a los 5 días (DLR, 2008).

Para ángulos  $45^\circ$  de inclinación del punto de vista de la toma, el error en planimetría está afectado por una magnitud igual al error del modelo digital del terreno utilizado (DLR, 2008). Utilizando órbitas Científicas con imágenes SpotLight de 1 m y un modelo digital de elevaciones de similar precisión, es posible alcanzar precisiones planimétricas con un Error Circular de 1 m al 95% de probabilidad (Ager, 2009). Por tanto, es posible obtener precisiones planimétricas del orden del tamaño de pixel si se dan las condiciones anteriores. El principal factor es la determinación precisa de la órbita utilizando los instrumentos de posicionamiento y orientación que lleva a bordo TerraSAR-X, sin necesidad de utilizar puntos de apoyo tomados en campo.

Las imágenes en modo StripMap con nivel de procesamiento MGD utilizadas en el proyecto se procesaron con el tipo de órbita denominada "Rápida".

#### Generación de ortoimágenes TerraSAR-X: ORI-SAR

Las ortoimágenes de TerraSAR-X, llamadas ORI-SAR, se pueden obtener a partir de imágenes SSC o MGD y son corregidas topográficamente utilizando un modelo digital del terreno de precisión. En este proyecto se recopiló la información del MDT del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y se utilizó con un paso de malla de 10 m.

### Cálculo automático de la máscara de inundación y edición manual

Las láminas de agua en zonas terrestres poseen una firma espectral característica que permite realizar una detección completamente automática de las áreas debido a las características de la señal radar en banda-X que utiliza el sensor del satélite TerraSAR-X.

Para determinar los límites de la lámina de agua se emplea la técnica de la segmentación. La segmentación supone que las imágenes están formadas por distintas regiones homogéneas separadas por bordes, donde la reflectividad de la señal radar es constante.

Posteriormente al proceso de segmentación automática, existe un proceso de generalización de los polígonos obtenidos. Para la toma de decisión de los polígonos candidatos a ser lámina de agua, se utilizan otro tipo de informaciones adicionales que introducen condicionantes que permiten acotar los resultados, como por ejemplo el propio MDT para detectar depresiones (hoyas) que acumulen el agua, o el análisis de la conexión de los polígonos con la red de drenaje que presenten continuidad.

Finalmente se realiza una supervisión por parte de un operador experimentado que resuelve manualmente aquellos casos que los algoritmos automáticos han marcado como dudosos, por omisión o comisión.



Figura 6.-ORI-SAR Jerez

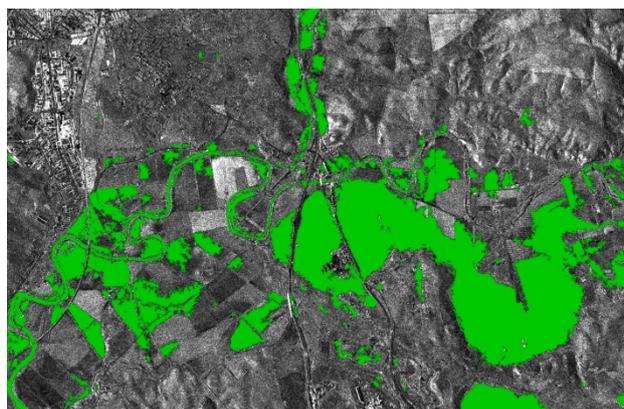


Figura 7 - ORI-SAR con Lámina de agua



Figura 8 - Ortofoto PNOA existente Jerez



Figura 9 - Ortofoto PNOA con Lámina de agua

### Generación de productos finales

La lámina de agua queda delimitada por un conjunto de polígonos vectoriales en coordenadas locales, en este caso en proyección UTM huso 30 con elipsoide WGS84, en un formato de fichero que sea compatible con la mayor parte de programas de información geográfica, eligiendo el estándar de facto ficheros shape de

ESRI. Además se genera un mapa de inundación listo para imprimir en formato TIFF incluyendo una carátula con información marginal y leyenda, junto a la ortoimagen ORI-SAR generada y un conjunto de metadatos ISO19115.

**Tabla 5.** Tabla resumen de los productos generados

<b>PRODUCTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Máscara de inundación vectorial	Fichero vectorial en formato ESRI Shape con una única capa de información (agua), que representa la lámina de agua. Sistema de representación UTM WGS84.
Mapa de Inundación	Fichero raster en formato TIFF de representación cartográfica listo para la impresión en formato DIN A2 a escala 1:25.000. Contiene la ortoimagen TerraSAR-X junto a la máscara de agua superpuesta, cuadrícula de coordenadas e información marginal.
ORI - Ortofotografía TerraSAR-X	Fichero raster en formato de imagen GeoTIFF de 1 banda en escala de grises con profundidad de 16 bits y con resolución espacial de 2 m. Sistema de representación UTM WGS84.
Fichero de metadatos	Formato XML ISO 19115

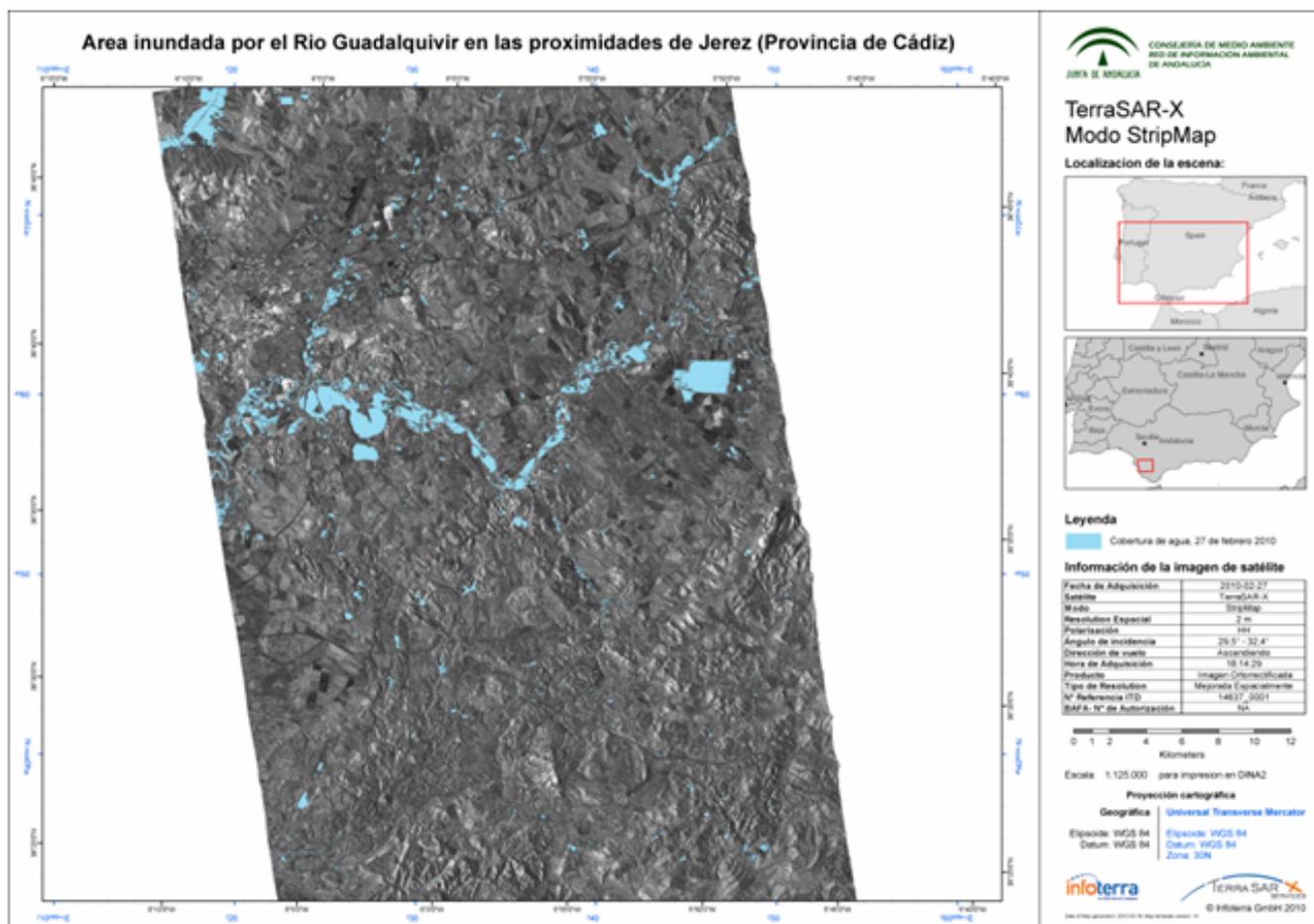


Figura 10 – Mapa de inundación listo para imprimir

### Entrega de la información

La entrega de la información se realizó en un plazo de 48 horas después de cada captura. Para agilizar el proceso de transmisión de datos se emplea una conexión ftp.

### CONCLUSIONES

Existe una metodología operativa, basada en la tecnología del satélite radar TerraSAR-X, para delimitar el perímetro de la lámina de agua originada por un fenómeno de inundación que afecta a zonas terrestres. Esta metodología es capaz de ofrecer resultados en tiempo útil durante la fase de emergencia, empleando procesos con un alto grado de automatización y en condiciones de nubosidad permanente, donde los satélites ópticos no pueden ofrecer información del terreno.

Es posible cubrir grandes superficies del terreno con una alta precisión geométrica absoluta y temática, con respecto a la incertidumbre de las áreas inundadas. De manera que la información de la posición de la lámina de agua podrá utilizarse posteriormente para determinar bienes inmuebles afectados en caso de catástrofe o para calibrar los modelos hidráulicos existentes, entre otras muchas aplicaciones que servirán como ayuda a la toma de decisiones durante las fases de crisis y post-crisis del fenómeno de inundación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ager, T. (2009): Geometric precision in space radar imaging: Results from Terrasar-x. ASPRS 2009 Annual Conference. Baltimore, Maryland March 9-13, 2009.

Bogardi, J. (2004): The newsletter of United Nations University and its international network of research and training centres/programmes. Issue32: July - August 2004. [http://update.unu.edu/archive/issue32\\_2.htm](http://update.unu.edu/archive/issue32_2.htm) (visitado en Junio de 2010).

DLR (2008): TerraSAR-X ground segment basic product specification document, TX-GS-DD-3302, v1.5, February 24, 2008.

Oliver, C. and Quegan, S. (1998): *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, Artech House.

Roth, A. (2009): *The TerraSAR-X and TanDEM-X Missions*. Geomatics Atlantic Conference 2009.