

Estudio y seguimiento de áreas afectadas de inundación (Febrero-Marzo y Diciembre) en las cuencas del Guadalquivir y Guadalete a partir de imágenes radar del satélite TerraSAR-X (REDIAM).

J.J. Vales², I.R. Carpintero², L. Granado², E. Méndez², G. Montoya², I. Pino², R. Prieto², F. Giménez de Azcarate², F. Cáceres¹, J. M. Moreira¹.

¹ DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE E INFORMACIÓN AMBIENTAL. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Avda. Manuel Siurot, 50, 41071. Sevilla (España). Telf: 955003429, Fax. 955003795. Correo electrónico: {josem.moreira, francisco.caceres}@juntadeandalucia.es

² DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN. Agencia de Medio Ambiente y Agua, Johan Gutenberg, 1 (Isla de la Cartuja), 41092 Sevilla (España). Telf: 955044529, Fax. 955625140. Correo electrónico: {fgimenezdeazcarate, jvales, emendez, gmontoya, icarpintero, ipino, lgranado, rprieto}@agenciademediambienteyagua.es

RESUMEN

Las intensas precipitaciones acaecidas en los meses invernales del año hidrológico 2009-10, han propiciado inundaciones en diferentes ámbitos y más concretamente en los cercanos a las llanuras de inundación de cuencas hidrográficas. En Diciembre de 2010 (siguiente año hidrológico) se han repetido vuelto a producir inundaciones en similares condiciones. Es imprescindible estudiar el alcance de la lámina de agua producida por estas crecidas y desbordamientos proporcionando esta situación la mejor oportunidad de cartografiar este aspecto, obteniéndolo directamente y no en base a modelos de simulación. Con este fin se ha hecho uso de la Teledetección mediante la tecnología Radar para la adquisición de imágenes, partir de las cuales se ha obtenido la localización y caracterización de las áreas afectadas. Este artículo describe los trabajos realizados en la fase de emergencia de dos episodios de inundación en cinco ámbitos de la región andaluza localizados en las Cuencas del Guadalquivir y Guadalete.

Palabras clave: Inundación, Radar, Teledetección, Año Hidrológico, CMA, Rediam, PNOA, SIOSE.

ABSTRACT

The intense rainfall records registered during the winter months of the present hydrological year 2009-2010 in the whole region of Andalusia (Spain) have produced floods in different areas and mainly in those flood plain areas within the river basins. In December 2010 (the next hydrological year) new floods have been registered in similar conditions. In this sense it is mandatory to study the range of the water sheet produced by floods and overflows. This situation provides the best opportunity for mapping flood aspects in order to obtain real time data and not based in simulation models. For this reason remote sensing based in RADAR technology for the acquisition of images has been used to locate and characterize the affected areas. This paper describes the work carried out in the emergency phase for two flood episodes in five different areas of the region of Andalusia located within the Guadalquivir and Guadalete river basins.

Key Words: Water floods, Radar, Remote Sensing, Hydrological Year, CMA, Rediam, PNOA, SIOSE.

INTRODUCCIÓN

La Observación de la Tierra a partir de sensores satelitales proporciona una importante fuente de información del territorio que permite llevar a cabo análisis y evaluación de diferentes parámetros y fenómenos ambientales a través del tratamiento de las imágenes y la obtención de indicadores ambientales. Pero además este conjunto de técnicas permiten llevar a cabo la

vigilancia o el seguimiento de desastres naturales entre los que se encuentran los incendios forestales, las inundaciones, terremotos,... En este sentido la disponibilidad de información en tiempo real en la fase de emergencia es fundamental para dar soporte a la toma de medidas durante el desastre y también para las actuaciones posteriores de los gestores de la administración competente.

Las intensas precipitaciones producidas en invierno y primavera del año hidrológico 2009-2010 en toda la región andaluza, han propiciado se produzcan inundaciones en diferentes ámbitos. La prolongada situación de lluvias ha provocado el llenado de los embalses de la región superando incluso su capacidad de embalsado. Las necesidades de regulación de embalsado pueden haber incrementado el efecto de las precipitaciones. Esta situación se ha repetido en el invierno del siguiente año hidrológico 2010-11 (diciembre 2010), produciendo nuevos episodios de inundación. Disponer de información similar de dos ámbitos en diferentes fechas, permite analizar con mayor profundidad el fenómeno.

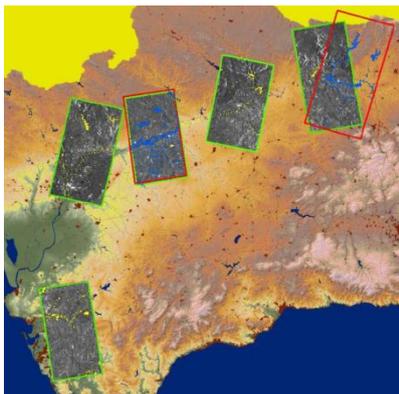


Figura 1: Localización de los ámbitos de estudios. Delimitación de ámbito: a) Verde: Febrero-Marzo 2010; b) Rojo: Diciembre 2010.

METODOLOGÍA

Estudios Previos

Durante el mes de Febrero (2010) se produjeron intensas precipitaciones sobre que provocaron la alarma en relación a la vigilancia respecto a las crecidas de embalses y posibles desbordamientos de ríos e inundaciones de llanuras de inundación de cuencas más susceptibles. (Martínez Vega, J. y Martín Isabel, M.P.2010). Desde la Rediam se pusieron en marcha las medidas oportunas de seguimiento de contingencias a partir de los diferentes sensores tomando como referencia tanto el ámbito cubierto por las escenas como a la resolución geométrica, radiométrica y temporal de las mismas. Entre los más destacados: MODIS (diarias), LANDSAT (adquisición cada 16 días) ó MERIS (cada 3 días).

Las imágenes satelitales analizadas, y por generalidad la mayor parte de los sensores

disponibles capturan información en unos rangos del espectro electromagnético que se ven afectadas por la meteorología (presencia de nubes y niebla cuya cobertura sobre la región impide la disponibilidad de datos del territorio). La cobertura nubosa sobre las áreas de interés fue casi completa durante la fase de emergencia. Este hecho constreñía la adquisición de imágenes al uso de tecnología Radar, para lo cual se estudiaron las diferentes fuentes de información en condiciones de urgencia/emergencia.

La opción seleccionada fue adquisición de imágenes del satélite TerraSAR-X con sensor en la banda X (sensor activo de apertura sintética), que permite observar tanto el terreno como las masas de agua en cualquier circunstancia (atravesando todas las capas de la atmosfera), incluso con cobertura nubosa. (DLR, 2008).

Parámetro satelital.	Datos Orbitales
Tipo de órbita	Heliosincrónica
Período de Repetición	11 días
Ciclo de Repetición	167 Órbitas
Órbitas por día	15 + 2/11
Velocidad	7,6 Km/s
Hora de Paso por Ecuador	Asc: 18:00 ± 0,25 h Desc: 18:00 ± 0,25 h
Inclinación	97,4438°
Altitud en el Ecuador	514,8 Km

Tabla 1: Características técnicas del satélite TerraSAR-X. Fuente: DLR.

Localización de ámbitos afectados en fase de emergencia

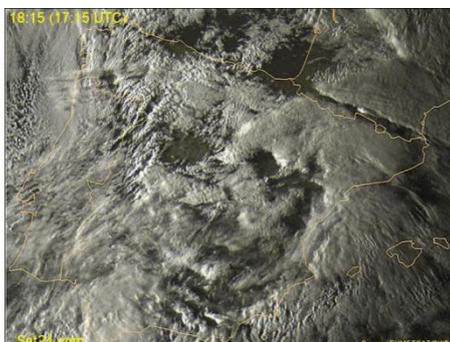


Figura 2: Imágenes METEOSAT con cobertura nubosa casi completa (27 Febrero 2010). Fuente: NEODASAS. Geostationary Archive.

A principios de la semana del 22 al 28 de Febrero (2010), comienzan a localizarse los primeros conatos de desbordamientos de ríos y a producirse la primeras inundaciones de

relevancia en las cuencas del Guadalquivir y Guadalete. Se establece por parte desde la CMA situación de emergencia y desde la Rediam se coordina la adquisición de las imágenes, haciendo uso de las predicciones meteorológicas y las posibles incidencias de las crecidas, desbordamientos e inundaciones. Este hecho se repitió en condiciones similares en la segunda semana de Diciembre (2010) cuando se repitieron nuevos episodios de inundación. La opción seleccionada para la adquisición de imágenes: “StripMap” (30 x 50 Km) con una resolución geométrica de 3 m. Nivel de Procesamiento MGD (Multi Look Ground Range Detected).

Programación del satélite y adquisición de imágenes

Cuenca	Ámbito	Adquisición			
		Fecha	Hora	Pas	Áng.
Guadalquivir	Lora R-Palma R.	27/02/2010	18:14:34	Asc	36,08- 38,51°
	Lora R-Palma R.	10/12/2010	10:14:52	Desc	36,00- 38,60°
	Córdoba-Alcolea	03/03/2010	6:29:28	Asc	29,50- 32,40°
	Villa R-Andújar	05/03/2010	18:06:15	Asc	29,50-32,40°
	Villa R.-Andújar	09/12/2010	6:20:58	Desc	39,80-42,20°
	Sevilla – Alcolea	08/03/2010	6:38:07	Desc	19,70- 23,01°
Guadal.	Jerez Frontera	27/02/2010	18:18:34	Asc	29,64- 32,41°

Tabla 2: Resumen parámetros de adquisición de escenas en los 5 ámbitos de estudio.

En este proyecto se han obtenido imágenes bajo Prioridad 2, es decir, se aplica a órdenes de trabajo (adquisición de imágenes) confirmadas entre 1 y 3 días antes de la captura. El 25 Febrero se proporcionan los datos necesarios para la programación del satélite para los dos primeros ámbitos de interés: Cuenca del Guadalquivir y del Guadalete. Entre otros parámetros del satélite es imprescindible definir las fechas de adquisición y el ángulo máximo de captura, que vienen condicionados por el período de revisita del satélite (11 días, paso exacto por la vertical) y por la aplicación y urgencia que tendrán los datos posteriores. Configurando estos parámetros, la captura puede optimizarse a 3,5 días. La confirmación de adquisición y programación del satélite se realizó el 26 Febrero, obteniéndose la captura 24 horas después de la programación, respondiendo a los requerimientos de emergencia. En días posteriores, con predicciones meteorológicas que aseguran un aumento en las precipitaciones a nivel regional en similares condiciones a las anteriores, se solicitan peticiones de programación y captura de 3 nuevos ámbitos en la Cuenca del Guadalquivir.

Este protocolo de actuación se repitió en condiciones similares en Diciembre (2010) sobre

dos de los ámbitos mencionados en donde se volvieron a producir crecidas, conatos de desbordamientos y posteriormente inundaciones severas (Cuenca del Guadalquivir).

Procesamiento de datos y obtención de Ortoimagen Radar

A partir de los datos crudos (modo StripMap) del TerraSAR-X se lleva a cabo el postproceso y obtención de las imágenes con nivel de procesamiento MGD sobre las que se llevarán a cabo procesos para mejorar geométrica y radiométricamente las imágenes, obteniéndose las Ortoimágenes ORI-SAR. Para la obtención de este producto corregido geoméricamente y en ETRS89 (UTM30) se utiliza un MDE (resol. 10m) del PNOA. La exactitud geométrica del producto ORI-SAR depende directamente de la exactitud altimétrica del MDE, de la precisión en la determinación de la órbita y del ángulo de adquisición de la toma. El RMSE del MDE es de 2 m (PPT PNOA). La determinación de las órbitas (“en modo Rápido”) llega a alcanzar una precisión de 2 m. La influencia del ángulo de adquisición en la exactitud del producto ORI-SAR es similar a la influencia del MDE.

Tratamiento de imágenes y obtención de lámina de agua

Sobre las imágenes ORI-SAR se realiza una detección automática de áreas cubiertas por agua basada en la señal Radar en la banda X (segmentación). Sobre el resultado vectorizado se depura la geometría de la de la lámina de inundación. La exactitud geométrica de la lámina de agua nunca será mejor que la del producto de partida ORI-SAR. La posibilidad de errores de omisión/comisión de zonas inundadas se intenta reducir mediante la supervisión de operadores.

Sobre las imágenes ORI-SAR y la lámina de inundación se ha efectuado una revisión mediante inspección visual y comparación con otras imágenes de mayor precisión (Ortofoto PNOA) para verificar que no existen errores geométricos groseros y que hay continuidad en el producto.

Clasificación de zonas cubiertas por agua

Sobre la lámina de agua obtenida se ha llevado a cabo una clasificación por uso del suelo afectado para lo cual se ha utilizado el SIOSE (actualizado a 2009). Las superficies como ríos y embalses no son inundadas. Para este fin existen otras metodologías basadas en el uso complementario de imágenes de satélite (García,

M.A y Miguelsanz, P., 2009). La leyenda SIOSE se generaliza en 4 tipos uso: Agrícola, Forestal, Espacio Construido e Infraestructuras, y Embalses (y láminas de agua,...) en todos los ámbitos de estudio.

RESULTADOS



Figura 3: Ejemplo zonas afectadas en 2 fechas (lora r-palma r): **a)** diciembre (cian), **b)** febrero (naranja).

Ambito	Sup (Ha)		Lámina			Uso del Suelo Afectado			
	Fecha	Completa	Agrícola	Forestal	Esp. Constr	Agrícola	Forestal	Esp. Constr	
Lora Río-Palma Río	27/02/2010	4313,8	1806,7	146,5	36,9				
Córdoba-Alcolea	03/03/2010	3241,4	712,0	55,8	51,2				
Villa Río-Andújar	05/03/2010	2819,4	1008,1	110,4	46,5				
Sevilla - Alcolea Río	08/03/2010	5236,0	649,1	824,4	216,0				
Ambito Guadalete.	27/02/2010	5843,0	4125,3	239,8	346,6				
Lora Río-Palma Río	09/12/2010	4000,9	1592,5	82,1	23,5				
Villa Río-Andújar	10/12/2010	3459,4	1101,9	228,8	43,4				
Ambito Común		Sup (Ha)		Uso del Suelo Afectado					
		Diferencias	Agrícola	Forestal	Construido				
Lora Río-Palma Río		Febrero - Diciembre	214,2	64,4	13,4				
Villa del Río-Andújar		Febrero - Diciembre	49,9	-61,7	15,0				

Tabla 3: Resultados de superficie cubierta y comparación de zonas comunes en diferente fecha.

Analizando las láminas de inundación obtenidas para fechas diferentes, se verifica que los ámbitos afectados en condiciones similares son muy similares y que las diferencias en la superficie afectada dependen directamente de la magnitud de la crecida y de la altura del agua registrada en la imagen (fecha y hora de adquisición) como factor principal. La influencia de la resolución y geometría de las imágenes y la interpretación de las mismas no son significativos respecto al factor principal. Los productos resultantes se integran directamente en el Catálogo de Información Ambiental de la Rediam: Imágenes, lámina de inundación clasificada, estadísticas,... y se ponen a disposición con los medios más oportunos (servicios OGC (WMS),...). Más información en "Canal de la Rediam".

CONCLUSION

La tecnología Radar es válida para cartografiar áreas afectadas de inundación en fase de emergencia, bajo condiciones meteorológicas adversas (nubosidad,...) dando respuesta a una necesidad en donde los otros sensores (espectro visible) no pueden responder. Los productos obtenidos proporcionan una visión real del fenómeno. La coherencia de los datos obtenidos en fechas diferentes avala la fiabilidad de las mismas. La información obtenida es muy útil para su aplicación en la toma de medidas en tiempo real o a posteriori de los desastres (evaluación de daños,...) respecto al planeamiento urbanístico (*Decreto de 189/2002 de 2 Julio*) y respecto a delimitación de zonas inundables (*AAA. Actuaciones para la prevención...*). La resolución geométrica de las imágenes Radar obtenidas y la exactitud geométrica de la cartografía de inundación obtenida es adecuada para la detección de áreas afectadas.

BIBLIOGRAFÍA.

AAA. Actuaciones para la prevención de avenidas e inundaciones. <http://www.juntadeandalucia.es>

BOJA Nº91. Sevilla 3 Agosto de 2002. Decreto de 189/2002 de 2 Julio. Plan de Prevención de avenidas e inundaciones en cauces urbanos andaluces. <http://www.juntadeandalucia.es>

Canal de la Rediam. Catálogo de Información Ambiental. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/rediam/>

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

GARCÍA, M.A Y MIGUELSANZ, P. (2009): Discriminación de láminas de agua con imágenes TerraSAR-X en la Albufera de Valencia. XIII Congreso de AET. Calatayud (2009).

LEY 4/2010, de 8 Junio, de Aguas de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Prevención de efectos por fenómenos extremos. <http://www.juntadeandalucia.es/boja/boletines/2010/121/d/1.html>

MARTÍNEZ VEGA, J. Y MARTÍN ISABEL, M.P. (2010): Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. Red Nacional de Teledetección Ambiental. CSIC.

Natural Environment Research Council Earth Observation Data Acquisition and Analysis Service (NEODASAS). <http://www.sat.dundee.ac.uk/geobrowse/wse/geobrowse.php>