APLICACIÓN DE IMÁGENES RADARSAT A LA ZONA DE LA MARISMA DE DOÑANA

C. PUIG (*), J.J. MARTÍNEZ-BENJAMIN (**), N. LANTADA (*) y J.A. GILI (*,***)

carol.puig@upc.es

(*) Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña.
(**) Dpto. Física Aplicada, Universidad Politécnica de Cataluña.
(***) Instituto de Geomática

RESUMEN: En este trabajo se presenta una aplicación de una imagen SAR (Wide 2 beam) obtenida por el satélite canadiense RADARSAT en la zona de Doñana (S-W de España). Se ha georreferenciado tentativamente una subimagen en la que se han podido identificar varias características relevantes de la zona, estructuras costeras y terrestres. Finalmente se ha calculado la superficie inundada por la marisma en Enero 1998, mostrándose la utilidad de este tratamiento como importante complemento a las técnicas terrestres.

ABSTRACT: A SAR RADARSAT image (Wide 2 beam) was used in this work on Doñana area (S-W Spain). As a first approach, a sub-image has been georeferenced, in which several relevant features, like terrestrial and coastal structures, have been identified. Then, the flooded area corresponding to the Doñana wetlands in January 1998 has been measured, showing the potential of this tool to complement terrestrial techniques.

Palabras clave: Teledetección Radar, Doñana, Marisma, Corrección geométrica, Georreferenciación.

INTRODUCCIÓN

El Radar de Apertura Sintética SAR juega un papel fundamental en Teledetección. Suministra información sobre la superficie física como la topografía, morfología, rugosidad (forma geométrica de la superficie a pequeña escala) y propiedades dieléctricas. En algunos casos suministra información sobre las propiedades del suelo. Tiene la atractiva propiedad de que opera independientemente de la iluminación solar y de la cobertura nubosa. Es insensible, usualmente, a las condiciones atmosféricas, salvo en el caso de precipitación severa. Sus principales campos de aplicación son: Estudios geológicos (litología, humedad del suelo, riesgos naturales como inundaciones, volcanes, terremotos), Oceanografía (corrientes oceánicas, ondas internas, procesos costeros, caracterización de estructuras de mesoescala), Hidrología y Nivología, usos del suelo (clasificación de la cubierta del terreno, estudios medioambientales), topografía (modelos digitales del terreno), etc. (NASA TM 1995).

Como todos los SAR, las imágenes RADARSAT son muy sensitivas a la rugosidad y forma del terreno. En particular a la presencia de agua (mar, ríos, lagunas, marismas). En el presente artículo se ha empleado una única imagen SAR de RADARSAT de la comarca de Doñana. A pesar de emplear una sola imagen, se han podido identificar varias características relevantes de la zona (estructuras costeras y terrestres, hidrológicas, etc.), debido al singular régimen hídrico de las marismas y lagunas de Doñana: en la época húmeda (invierno y primavera), la superficie de agua inunda la parte central del Parque, mientras que en verano la marisma se seca hasta quedar transitable. Conocer la superficie de marisma inundada (o el volumen de agua) en determinadas épocas puede ser muy útil para la gestión hidráulica del Parque.

IMÁGENES RADARSAT

El satélite RADARSAT de la Agencia Espacial Canadiense (CSA) fue lanzado en órbita heliosíncrona, de 800 km de altura aproximadamente con inclinación de 98º.6, el 4 de Noviembre de 1995. El satélite lleva un Radar de Apertura Sintética (SAR) en banda C con frecuencia 5,3 GHz, polarización HH de la antena y tiene acceso a una amplia variedad de observaciones de 45 a 500 km con resoluciones de 10 a 100m respectivamente. El ángulo de incidencia varía entre 20 a 50 grados aproximadamente, capacidad que representa la mayor

ventaja pues toma imágenes de la misma zona con diferentes ángulos de observación . La órbita del satélite tiene un período de repetición de 24 días.

Aplicaciones al estudio de características oceánicas y costeras de las imágenes SAR del RADARSAT, y eventualmente mediante su sinergia con imágenes SAR del ERS-1/2 e imágenes infrarrojas han sido realizadas, en particular en la zona del Mediterráneo Occidental (Martinez-Benjamin *et alii,* 1998), en la zona del Estrecho de Gibraltar (Martinez-Benjamin *et alii,* 1999) y en la zona NE de la costa del Brasil (Medeiros *et alii,* 2000).

El Mediterráneo Nordoccidental ha sido estudiado extensamente presentando una notable riqueza biológica debido al fuerte afloramiento y mezcla causados por la interacción entre la batimetría, las corrientes locales y los vientos dominantes. El estrecho de Gibraltar controla la mezcla entre el agua mediterránea y la procedente del Océano Atlántico que se produce en un amplio rango de diferentes escalas espaciales siendo las más grandes los dos remolinos anticiclónicos en el Mar de Alborán.

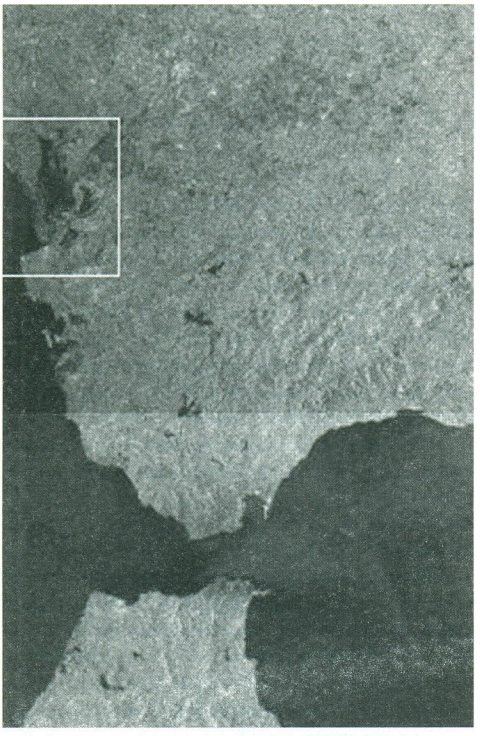

Figura 1. Composición de dos imágenes W2 SAR RADARSAT-1 consecutivas, Estrecho de Gibraltar (21 de Enero de 1998).

La imagen RADARSAT utilizada ha sido una SAR Wide 2 Beam tomada el 21 de Enero de 1998 a las 18h18m UTC en una órbita ascendente y con una resolución del píxel de unos 12.5 m. Dicha imagen fue suministrada por la CSA dentro del proyecto ADRO#321. (figura 1).

El estudio se ha realizado en conjunción con el proyecto "Canary islands and Gibraltar-Azores Observations (CANIGO)", MASTIII de la Unión Europea, dentro del grupo de la Universidad de Cádiz (Prof. Manuel Catalán).

EVALUACIÓN DE LA EXTENSIÓN CUBIERTA POR LA MARISMA MEDIANTE IMAGEN RADARSAT

Dentro del proyecto de la CICYT (nº HID 97-0321-C02, el subproyecto U.P.C., llamado "Procesos Hidrogeológicos y Geomorfológicos en los humedales del Área de Doñana", se ha desarrollado durante los años 1998 a 2000. En (Solís, 2000) y en (Gili *et alii.* 2000) se describe el objetivo específico del subproyecto y el conjunto de trabajos realizados hasta la fecha.

Es de destacar la gran extensión de la comarca de Doñana y su entorno (Parque Nacional, Parque Natural, zonas protegidas limítrofes). De las más de 50.000 Ha, el "espejo" de la marisma cuando las aguas están a su máximo nivel ronda las 28.000 Ha (dimensiones aproximadas de 25 km (NW-SE) por 12 km), embalsando unos 150 - 200 hm3, pasando a estar prácticamente seca en verano. Del balance de las aguas durante las estaciones de transición y de su gestión dependen importantes ecosistemas animales y vegetales. A pesar de la notoriedad de Doñana y de la notable cantidad de estudios que se llevan a cabo en su entorno desde hace varias décadas, los levantamientos y mapas disponibles estaban, en general, poco o mal apoyados, y el marco de referencia era inadecuado para trabajos de precisión como los que se pueden abordar actualmente mediante el sistema GPS y la teledetección. Algunos de los trabajos están encaminados a la cuantificación de cambios geomorfológicos en la marisma (sedimentación-erosión), y otros persiguen un modelo del fondo de la misma que permita establecer modelos hidráulicos para su funcionamiento.

Se ha trabajado con una subimagen de la figura 1 (recuadro blanco), que se amplía en la figura 2, la cual cubre una zona aproximada de 207900 Ha. En esta subimagen se han podido identificar detalles relevantes de la zona: cadenas de dunas litorales paralelas a la costa atlántica; salinas (como las de *Monte Algaida*), explotación piscifactoría de *Isla Mayor*; marisma de Doñana y "lucios" como los de *Cuquero Grande* y *Mari López*; "brazo" *de la Torre* (zona de *Entremuros*); "caños" como el de Guadiamar; "muros" (terraplenes) como

el de la *Confederación* o el de *Brenes*; zonas urbanas (*Matalascañas, El Rocío, Sanlúcar de Barrameda*).

El procesamiento de las imágenes se ha realizado con el programa ENVI. El cual ha permitido obtener de forma rápida y sencilla la georreferenciación de la imagen por diferentes métodos y comprobar los errores generados con cada uno de ellos.

Para realizar una corrección óptima de la imagen la situación de los puntos de control es fundamental. Estos tienen que estar homogéneamente situados, a ser posible cerca de los márgenes de la zona de interés y mejor si la enmarcan, aunque la dificultad más importante radica en identificarlos en la imagen radar. Se dispone de una serie de puntos GPS, apoyados en la red geodésica y que cubren aproximadamente todo el territorio del Parque Nacional de Doñana. La precisión de estos puntos es elevada (unos pocos centímetros en X e Y), aunque no fueron seleccionados expresamente para la georreferenciación de la imagen radar. Se ha prescindido de la coordenada Z para el ajuste de la imagen porque el área de Doñana es muy plana, con una topografía suave descendiendo de W a E.

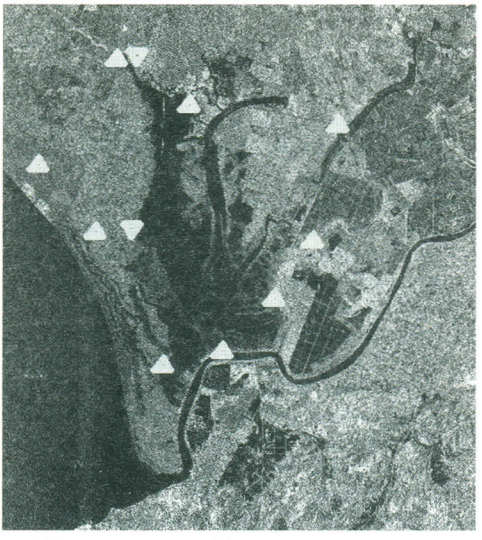

Figura 2. Imagen radar y puntos de control (D) de la zona de estudio (subimagen de 13MB correspondiente al recuadro de la figura 1).

Los métodos más comunes para realizar la georreferenciación son una rotación, traslación, y factor de escala (RTE) o bien una corrección polinómica. Envi, también nos permite hacer una corrección geométrica por el método de la Triangulación de Delaunay.

El método RTE es un caso particular de la transformación afín, considera un factor de escala uniforme e igual en el eje x e y, obteniendo un sistema de ecuaciones de 4 parámetros. Este ajuste es muy usado en topografía para cambios de coordenadas entre distintos sistemas de referencia, expresados en coordenadas planas. Para la corrección de imágenes satélite no es el más adecuado porque es una transformación conforme, conserva los ángulos, y al corregir imágenes puede ser conveniente distorsionarlas angularmente (ángulo incidencia nominal de Radarsat-1 es 46.3º).

Los resultados más satisfactorios se han obtenido con la corrección polinómica de primer grado. No se ha utilizado una corrección de grado superior dado que precisa mayor número de puntos de control. Puede adaptarse mejor a ellos, pero las ondulaciones polinómicas pueden producir errores crecientes al alejarnos de los puntos de control. La corrección polinómica de primer grado necesita un mínimo de 3 puntos de control, hemos identificado 11 (figura 1). Disponer de más puntos va bien para poder descartar alguno según el RMS del ajuste. Con 9 puntos de control se ha obtenido un RMS de 102 metros, bastante superior al tamaño del píxel, debido a las dificultades al identificar los puntos en la imagen radar. La imagen corregida se muestra en la figura 3.

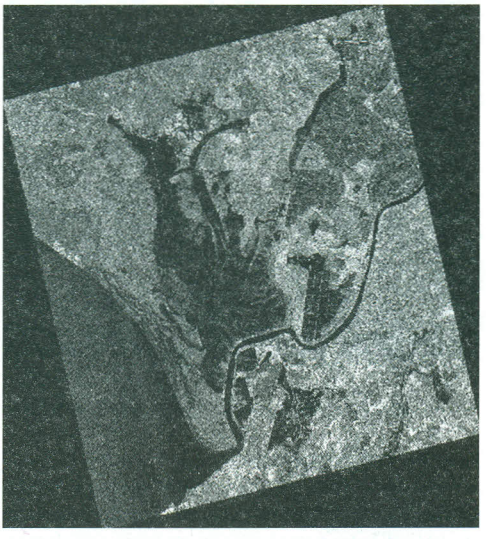

Figura 3. Corrección polinómica de primer grado.

Para la transferencia de los niveles digitales (ND) de la imagen original a su nueva posición, se ha utilizado el método del vecino más próximo (nearest

neighbour), que sitúa en cada píxel de la imagen corregida el ND del más cercano en la imagen original. El inconveniente que tiene es la distorsión que introduce en elementos lineales de la imagen, los cuales pueden aparecer como líneas quebradas en la imagen corregida. Sin embargo, en la imagen procesada no predominan este tipo de elementos. Es la solución más rápida y la que supone menor cambio radiométrico.

A continuación se pasó a obtener la superficie de la zona inundada de marisma. Al no disponer de imágenes multiespectrales de otros sensores con fecha próxima a la de la escena para obtener algún tipo de clasificación, y como nuestra imagen no proporciona agrupaciones más o menos nítidas de los ND con elementos geomorfológicos de la zona (que nos permitan identificar de forma automática la cubierta de agua de la marisma), se optó por la digitalización en pantalla sobre la imagen corregida.

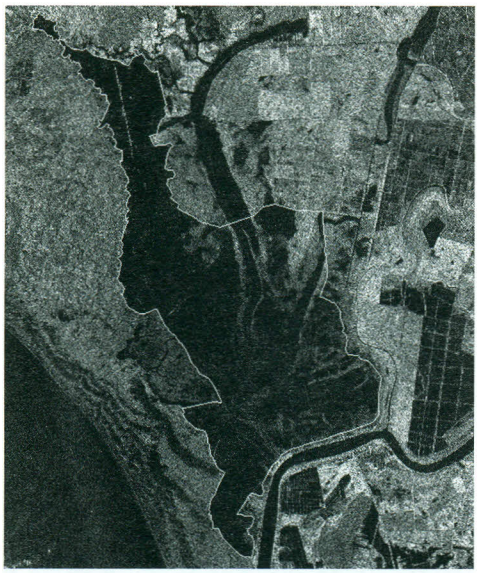

Figura 4. Área de la marisma (17070 Ha).

COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se ha usado, de manera tentativa, una imagen SAR RADARSAT de Doñana, evaluando sus posibilidades para aportar información complementaria útil de la zona.

En la imagen se han podido identificar características relevantes del área, como cadenas de dunas, salinas, cascos urbanos, lucios, "caños" y la marisma. Algunos detalles han sido usados para rectificar la imagen SAR a coordenadas UTM (ED50). Se quiere resaltar que estos puntos de control no habían sido medidos expresamente para esta labor. El RMS tras el ajuste es de 102 m.

La forma y la superficie (17070 ha) de la zona inundada dan una excelente información de la situación de la marisma en Enero de 1998.

Los resultados presentados son preliminares dado que la investigación sigue en curso.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPBEL, J. B. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press.

CHUVIECO E. 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp, Madrid.

GILI, J. A., PUIG, C., BUILL, F., LANTADA, N., LÓPEZ, R., GONZÁLEZ, S. 2000. Estimación de un modelo de geoide local para navegación y posicionamiento GPS de precisión en la marisma de Doñana. 4ª Semana Geomática de Barcelona, Sitges, Abril de 2000.

MARTINEZ-BENJAMIN, J. J., FONT, J., REDONDO, J. M., VAN DER GRAAF, G. y CHIC. O.; "Use of RADARSAT images to characterize oceanic features in the western Mediterranean Sea", Symposium RADARSAT ADRO, Octubre 13-15, 1998, Proceedings CD-ROM, Montreal, Canada, 1998.

MARTINEZ-BENJAMIN, J. J., PLATONOV, A., CATALÁN, M. Y REDONDO, J. M.; "RADARSAT SAR observations of the Gibraltar Strait: environmental conditions and its hydraulic exchange", CANIGO Conference, Book of Abstracts p.50, Las Palmas de Gran Canaria, Septiembre 12-16, 1999.

MEDEIROS, C., BEZERRA, M. O. y MARTINEZ-BENJAMIN, J. J.; "Coastal changes and the role of mangrove and morphological features on the dynamic and productivity of the NE-Brazilian oceanic waters", ERS-ENVISAT Symposium, Chalmers/European Space Agency, Proceeding CD-ROM, Goteborg, Suecia, Octubre 16-20, 2000.

NASA TM 1995. "Spaceborne Synthetic Aperture Radar:current status and future directions", NASA Technical Memorandum 4679, Repport to the Committee on Earth Sciences, Evans, D.L. (Editor).

SOLÍS J. 2000. Navegación con GPS para la elaboración de perfiles de precisión en la marisma de Doñana. 4ª Semana Geomática de Barcelona, Sitges, Abril de 2000.

AGRADECIMIENTOS

La imagen RADARSAT estudiada ha sido obtenida de la Agencia Espacial Canadiense CSA a través del proyecto ADRO#321, "Radarsat SAR application study in the western Mediterranean Sea".

El presente trabajo ha disfrutado del marco proporcionado por un proyecto de la CICYT (HID 97-0321-C02, ref. E.B. de Doñana 22/97, Inv. Pral. Carlos Montes, UAM). Se agradece la ayuda proporcionada por las instituciones y organismos implicados, así como por las personas integrantes de los mismos con las que se ha tenido la oportunidad de trabajar.