

SUPERFICIE CUBIERTA POR EL AGUA EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA EN UN MOMENTO DE GRAN INUNDACION, OBTENIDA MEDIANTE ANALISIS DIGITAL DE UNA IMAGEN LANDSAT MSS

J. M. CUEVAS¹ y F. GONZALEZ ALONSO¹

RESUMEN

La superficie cubierta por el agua en el Parque Nacional de Doñana y sus Preparques en un momento de gran inundación ha sido obtenida mediante tratamiento digital de una imagen Landsat MSS captada en febrero de 1988. Como metodología se ha utilizado clasificación no supervisada y un reclasificador de contexto. La superficie inundada en la fecha de la imagen es muy considerable y similar a la obtenida en un estudio realizado mediante interpretación visual de otra imagen Landsat MSS.

Palabras clave: Area inundada, Landsat MSS.

INTRODUCCION

Las imágenes de satélite (Landsat MSS, Landsat TM, NOAA AVHRR, SPOT, etc.) han sido utilizadas en un gran número de estudios y aplicaciones, entre las que algunas de éstas, como la mejora de la estimación de superficies cultivadas, han adquirido carácter operacional.

CARTER *et al.* (1977) utilizaron fotografía aérea y datos Landsat MSS para obtener información utilizable en la gestión de un área forestal inundable de Carolina del Norte (EEUU). Según CARTER (1978) los datos procedentes de satélites podrían en un futuro próximo proveer una fuente de información precisa, económica y de confianza para actualizar los inventarios de zonas húmedas costeras.

RAMMAMOORTHI y SUBBA RAO (1985) estudiaron una gran inundación ocurrida en la India en 1977 mediante interpretación visual y digital de información Landsat, comparando los resultados con los obtenidos a partir de fotografía aérea. Según estos autores las imágenes de satélite son de gran utilidad y confianza para estos fines.

LENCO y DEDIEU (1986) analizaron mediante imágenes Landsat MSS y TM, de 1975 y 1984, la evolución temporal de dos áreas inundables de Francia, llegando como conclusión a que las imágenes Landsat TM ofrecían gran interés para determinar el estado de los usos del suelo en estas áreas. KOELN *et al.* (1986) han usado información Landsat TM para realizar un inventario de las áreas inundadas en las Grandes Llanuras de Estados Unidos.

Gran parte de las investigaciones más recientes sobre la aplicación de la teledetección al medio acuático son relativas a la utilización de las imágenes de satélite para cuantificar la calidad y características del agua (LATHROP *et al.*, 1986; BRAGA *et al.*, 1993; BABAN, 1993; ANJI REDDY, 1993).

COTA *et al.* (1977) evaluaron, mediante interpretación visual de varias imágenes Landsat MSS del año 1973 sobre soporte fotográfico, la superficie inundada en cada fecha en el Parque Nacional de Doñana. La mayor superficie inundada, aproximadamente 30.000 ha, fue la obtenida a partir de una imagen captada el 9 de marzo de 1973.

El objetivo de este estudio ha sido obtener mediante tratamiento digital de una imagen Landsat MSS, captada oportunamente en un momento de gran inundación en el Parque

¹ Laboratorio de Teledetección. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Aptdo. 8111. 28040 Madrid.

Nacional de Doñana, una cuantificación de la superficie que llega a estar cubierta por el agua.

Son diversos los estudios realizados mediante teledetección, utilizando imágenes Landsat MSS o TM, en el Parque Nacional de Doñana o su entorno (COTA *et al.*, 1977; MOREIRA *et al.*, 1989; SILJESTRÖM *et al.*, 1989; GONZÁLEZ *et al.*, 1991; CUEVAS y GONZÁLEZ-ALONSO, 1992; CUEVAS *et al.*, 1992; CUEVAS *et al.*, 1993; SILJESTRÖM *et al.*, 1993; CUEVAS *et al.*, 1994).

MATERIAL Y METODOS

Para realizar este estudio se seleccionó una imagen Landsat MSS captada el 10 de febrero de 1988. Las imágenes Landsat MSS tienen una resolución espacial de 79 m y disponen de cuatro bandas, dos correspondientes al visible y dos al infrarrojo próximo. La periodicidad con que un área de la superficie terrestre es cubierta por una imagen Landsat es 16 días.

En la fecha de la imagen Landsat MSS seleccionada la superficie cubierta por agua en el Parque Nacional de Doñana parecía ser muy alta, lo cual, entre otras causas, podría ser consecuencia de las especiales condiciones meteorológicas del período anterior a la fecha de la imagen, en que las precipitaciones fueron mayores de lo habitual.

La precipitación desde octubre de 1987 a enero de 1988 en la estación meteorológica de Sevilla-Aeropuerto fue 522 mm, en tanto que en el mismo período anterior a la imagen utilizada por

COTA *et al.* (1977) la precipitación fue 266 mm, es decir, prácticamente la mitad que la registrada en los mismos meses anteriores a la fecha de la imagen utilizada en este estudio.

Las características meteorológicas del año 1988 también tuvieron como consecuencia una mayor superficie cultivada en regadío en el entorno del Parque Nacional de Doñana (CUEVAS y GONZÁLEZ-ALONSO, 1992).

Se extrajo mediante digitalización la parte de la imagen cubriendo el Parque Nacional, incluyendo el Preparque Norte y el Preparque Este, que, aunque menos inundados, también parecían presentar gran parte de su superficie cubierta por agua. En la Lámina I aparece representado el sector de la imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio.

Mediante el algoritmo ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis Technique) se clasificó no supervisadamente (SWAIN & DAVIS, 1978) el sector de la imagen Landsat MSS cubriendo el área en estudio. Como número de clases a obtener se eligió diez y como porcentaje de convergencia el 99%.

Posteriormente, el área en estudio se clasificó con las clases espectrales construidas por el algoritmo ISODATA realizando una clasificación de máxima verosimilitud, y a los resultados obtenidos se les aplicó un reclasificador de contexto (GURNEY y TWONSHEND, 1983), en que cada píxel es asignado a la clase que estuviera en mayoría en una ventana de 3 x 3 píxeles con centro en él.

TABLA I

CLASES OBTENIDAS MEDIANTE CLASIFICACION NO SUPERVISADA DE LA INFORMACION LANDSAT MSS DEL AREA EN ESTUDIO

Clase	Píxeles	%	Descripción
1	28.514	19,16	Zonas inundadas, mayor profundidad
2	16.628	11,17	Zonas inundadas, profundidad media
3	9.831	6,61	Zonas inundadas, menor profundidad
4	16.740	11,25	Pinares y marisma con actividad vegetativa
5	25.817	17,35	Pinares, matorrales, eucaliptares y marisma con actividad vegetativa
6	23.312	15,67	Marisma no inundada y suelos desnudos
7	8.946	6,01	Marisma no inundada y suelos desnudos
8	9.523	6,40	Marisma no inundada y suelos desnudos
9	3.777	2,54	Corrales dunares y suelos denudos
10	5.716	3,84	Arenales costeros

RESULTADOS Y DISCUSION

El área en estudio está constituida por 148.804 píxeles (unidades de información de la imagen), de los que 106.127 corresponden al Parque Nacional y 42.677 a los dos Preparques.

En la Tabla I figuran el número de píxeles de cada una de las diez clases obtenidas con el algoritmo ISODATA y el porcentaje que suponen del total, así como la descripción adoptada para cada clase en función de la interpretación visual de la imagen y los resultados obtenidos.

La denominación de las tres clases calificadas como correspondientes a zonas inundadas podría no ser totalmente adecuada, ya que, tal vez, sus diferencias espectrales estén más relacionadas con el contenido de elementos en suspensión en las aguas que con la profundidad de éstas.

El número total de píxeles clasificados en las clases 1, 2 y 3 (áreas inundadas) es 54.973 (36,94% del área en estudio).

En la clasificación de máxima verosimilitud realizada utilizando las clases espectrales generadas por el algoritmo ISODATA cada una de las diez clases estuvo formada por el número de píxeles que figura en la Tabla II.

TABLA II

Clase	Número de píxeles
1	27.878
2	16.731
3	10.059
4	17.042
5	25.620
6	21.372
7	10.049
8	10.071
9	4.293
10	5.689

La suma de las tres primeras clases (zonas inundadas) es 54.668 píxeles (36,74% del área en estudio), es decir, ha disminuido muy ligeramente (305 píxeles) la superficie calificada como correspondiente a zonas inundadas.

En los resultados obtenidos se clasifican como zonas inundadas algunos píxeles distribuidos en el sector forestal del parque, que es dudoso que

correspondan a áreas inundadas y no sean matorrales (jarales) o pinares con muy baja actividad vegetativa, y, por tanto, con respuesta en el infrarrojo próximo muy baja y similar a la de las áreas inundadas. Por esta razón se decidió realizar una reclasificación por contexto, de forma que cada píxel fuese asignado a la clase que era más abundante en una ventana con centro en él.

Para aplicar el clasificador de contexto previamente se agruparon las clases 1, 2 y 3, calificadas como correspondientes a zonas inundadas, en una sola clase y las demás se agruparon en otra. Sobre los resultados obtenidos se aplicó el reclasificador de contexto, utilizando una ventana cuadrada de 3 x 3 píxeles y de forma que esta reclasificación se realizase exclusivamente sobre la clase correspondiente a zonas inundadas. Los resultados obtenidos fueron:

	Píxeles	%
Zonas inundadas	52.978	35,60
Zonas no inundadas	95.826	64,40

En los resultados obtenidos con esta reclasificación el número de píxeles clasificados como correspondientes a zonas inundadas ha disminuido, pasando de 54.668 a 52.978, y los píxeles previamente clasificados como zonas inundadas salpicados en las áreas forestales del parque, de los que se tenían dudas sobre su correcta clasificación, se han reclasificado prácticamente todos como pertenecientes a zonas no inundadas. No obstante, las lagunas peridunares, como la de Sta. Olalla, siguen clasificándose como zonas inundadas.

Esta superficie de 52.978 píxeles calificada como correspondiente a zonas inundadas equivale aproximadamente a 33.064 ha, aceptando que cada píxel es un cuadrado de 79 m de lado.

Con el fin de comparar los resultados obtenidos con los de COTA *et al.* (1977), referidos exclusivamente al Parque Nacional, se averiguó cuantos de los píxeles clasificados como correspondientes a zonas inundadas pertenecían al Parque Nacional, sin incluir los Preparques.

Para ello, se digitalizaron los límites del Parque Nacional sin incluir los Preparques, obteniéndose que en este área, constituida por 106.127 píxe-

les, la superficie calificada como inundada tras aplicar el reclasificador de contexto es 45.310 píxeles (42,69%), equivalente a 28.278 ha. Esta cifra es similar a la obtenida por COTA *et al.* (1977), que era de aproximadamente 30.000 ha.

La proporción inundada en el Parque Nacional es superior a la inundada en el conjunto del Parque y Preparques, que como se vio era el 35,60%, y por tanto, lógicamente, a la inundada en los Preparques que es el 17,97%, dado que en éstos sólo han sido clasificados como correspondientes a superficies inundadas 7.668 píxeles de un total de 42.677.

En la Tabla III figuran los resultados obtenidos, expresados en píxeles, de superficie clasificada como inundada y no inundada de los diferentes procesos seguidos, para el conjunto del Parque y los Preparques, y para el Parque Nacional y los Preparques por separado.

CONCLUSIONES

La teledetección ha mostrado ser una fuente de información de enorme oportunidad e interés para cuantificar las superficies que sufren fenómenos de inundación.

La superficie inundada en el Parque Nacional de Doñana obtenida mediante tratamiento digital

de una imagen Landsat MSS captada en un momento de gran inundación del Parque es similar a la obtenida en un estudio basado en tratamiento visual de información procedente de otra imagen de satélite.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha realizado dentro del proyecto INIA n.º 7683 titulado «Detección de cambios en la cubierta mediante técnicas de detección de cambios. Aplicación al seguimiento del grado de inundación del Parque Nacional de Doñana a lo largo del año».

Se agradece la colaboración prestada por las siguientes instituciones:

- Servicios del Parque Nacional de Doñana. ICONA, Huelva.
- Estación Biológica de Doñana. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Sevilla.
- Area de Teledetección. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Agencia del Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.

TABLA III

PIXELES CLASIFICADOS COMO AREAS INUNDADAS EN LOS ANALISIS APLICADOS SUCESIVAMENTE A LA INFORMACION LANDSAT MSS DEL AREA EN ESTUDIO

	Parque Nacional y Preparques		
	Clasificación no supervisada	Clasificación de máxima verosimilitud	Reclasificación por mayoría
	(%)	(%)	(%)
Inundado	54.973 (36,94)	54.668 (36,74)	52.978 (35,60)
No inundado	93.831 (63,06)	94.131 (63,26)	95.826 (64,40)
Total	148.804	148.804	138.804
	Parque Nacional Reclasificación por mayoría (%)	Preparques Reclasificación por mayoría (%)	
Inundado	45.310 (42,69)	7.668 (17,97)	
No inundado	60.817 (57,31)	35.009 (82,03)	
Total	106.127	42.677	

SUMMARY

The flooded surface in the National Park of Doñana (Spain) and their Preparks has been studied through digital analysis of a Landsat MSS image recorded in february 1988, in a moment of great inundation in the National Park. It has been used unsupervised classification and a context classifier. The surface inundated in the date of the image is very high, being similar to the results obtained through visual photo interpretation of an older Landsat MSS image.

Key words: flooded area, Landsat MSS.

BIBLIOGRAFIA

- ANJI REDDY M. 1993: «Remote sensing for mapping of suspended sediments in Krishna Bay Estuary, Andhra Pradesh, India». *Int. J. Remote Sensing*, 14; 2215-2221.
- BABAN S. M. J. 1993: «Detecting water quality parameters in the Norfolk, Broads, U. K., using Landsat imagery». *Int. J. Remote Sensing*, 14: 1247-1267.
- BRAGA C. Z. F.; SETZER A. W. y LACERDA L. D. 1993: «Water quality assessment with simultaneous Landsat 5 TM data at Guanabara Bay, Río de Janeiro, Brazil». *Remote Sens. Environm.*, 45: 5-106.
- CARTER V.; GARRET M. K.; SHIMA L. y GAMMON P. 1977: «The Great Dismal Swamp: Management of a hydrologic resource with the aid of remote sensing». *Water Resources Bulletin*, 13: 1-12.
- CARTER V. 1978: «Coastal wetlands: role of remote sensing». *Symposium on Technical, Environmental, Socioeconomic and Regulatory Aspects of Coastal Zone Management*, pp. 1261-1283, San Francisco.
- COTA H.; GARCÍA-NOVO F. y PAU A. 1977: «Estudio de las marismas del Parque Nacional de Doñana utilizando imágenes del satélite ERTS-1». *Boletín de la Estación Central de Ecología*, 6(12): 20-40.
- CUEVAS J. M.; GONZÁLEZ-ALONSO F. y HERRÓN MARÍA 1992: «Relación entre la respuesta espectral captada por el sensor AVHRR de los satélite NOAA en un área de pinar del Parque Nacional de Doñana y las condiciones meteorológicas». *Ecología*, 6: 3-7.
- CUEVAS J. M. y GONZÁLEZ-ALONSO F. 1992: «Variación temporal de las superficies cultivadas en regadío en el área del Parque Nacional de Doñana mediante análisis de imágenes Landsat MSS». *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales*, vol. 7(2): 245-252.
- CUEVAS J. M. y GONZÁLEZ-ALONSO F. 1993: «Análisis mediante una imagen Landsat MSS de la diversidad espacial de los usos del suelo en el Parque Nacional de Doñana (España)». *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales*, vol. 2(1): 89-98.
- CUEVAS J. M.; GONZÁLEZ-ALONSO F. y HERRÓN, MARÍA 1994: «Reconocimiento de eucaliptares en el sureste de la provincia de Huelva mediante análisis de una imagen Landsat MSS». *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales*. Vol. 9(3): 439-449.
- GONZÁLEZ A.; FERNÁNDEZ A.; LOBATO A. y MOREIRA J. M. 1991: «Cartografía y estadística de cultivos en riego en el entorno de Doñana mediante integración de SIG y clasificación de imágenes Landsat-TM». *Cuarta Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*, Sevilla, pp. 276-286.
- GURNEY C. M. y TWONSHEND J. R. G. 1983: «The use of contextual information of remotely sensed data». *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 49, 55-64.
- KOELN G. T.; CALDWEL P.; WESLEY D. E. y JACOBSON, J. E. 1986: «Inventory of wetlands with Landsat's Thematic Mapper». *Tenth Canadian Symposium on Remote Sensing*, Edmonton, Canadá.
- LATHROP R. G. y LILESAND T. M. 1986: «Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan». *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 52: 671-680.
- LENCO M. y DEDIEU J. P. 1986: «Present state, changes and quality of Sologne and Brenne, two french large wetlands, studied with the MSS and TM Landsat data». *ESA/EARSel Symposium on Europe from Space*, Lyngby, Dinamarca, pp. 259-261.
- MOREIRA J. M.; RAMOS A.; LOBATO A. y FERNÁNDEZ A. 1989: «Evaluación de superficies cultivadas de fresón mediante imágenes Landsat-TM. Su uso en un sistema de pronóstico de cosecha». *Tercera Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*. Madrid, pp. 93-103.

- J. M. CUEVAS y F. GONZÁLEZ ALONSO «Superficie inundada en el P. N. de Doñana a partir de Landsat MSS»
- RAMMAMOORTHI A. S. y SUBBA RAO P. 1985: «Inundation mapping of the Sahibi river flood of 1977». *Int. J. Remote Sensing*, 6: 443-445.
- SILJESTRÓN P.; GARCÍA-FERNÁNDEZ L. V.; CLEMENTE L. y SEGURA F. J. 1989: «Estudio multitemporal de las marismas del Guadalquivir. Reconocimiento del medio físico». *Tercera Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección*, Madrid, pp. 51-58.
- SILJESTRÓN P.; MORENO A.; GARCÍA-FERNÁNDEZ L. V. y CLEMENTE L. 1993: «Diferenciación de unidades edáficas». *Revista de Teledetección*, 2: 4-11.
- SWAIN P. H. y DAVIS SH. M. 1978: *Remote Sensing: The quantitative approach*. Mc Graw Hill Book Company.