

EVALUACIÓN DE IMÁGENES DS 1268 ATM Y LANDSAT EN EL ESTUDIO DE LAS VARIACIONES ESTACIONALES DE LAS LAGUNAS PERIDUNARES DE DOÑANA

M. T. Moreno, C. Antón-Pacheco y J.C. Gumiel

c.pacheco@igme.es

Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 20003 Madrid.

RESUMEN: El tratamiento e interpretación de los datos registrados por el sensor aeroportado DS 1268 (ATM) sobre las lagunas peridunares del Manto Eólico en el Parque Nacional de Doñana, ha permitido la discriminación y cartografía de las laminas de agua de las lagunas, de las zonas encharcadas y de distintos tipos de vegetación presente en el área, particularmente la vegetación higrófila asociada a una mayor humedad en el suelo, y que pueden tomarse como indicadores de las fluctuaciones del nivel freático del acuífero en épocas de estiaje. La serie de imágenes Landsat ETM + y TM ha puesto de manifiesto la variación estacional de los humedales en una zona de especial interés ecológico.

Palabras clave: lagunas peridunares, humedales, Doñana, Landsat, DS 1268 ATM.

ABSTRACT: Multispectral airborne DS 1268 (ATM) data and multiple-date Landsat data have been evaluated for identification and monitoring of wetlands in an area of dune ponds located within Doñana National Park. Dune ponds are small and generally temporal water bodies that fluctuate in response to rainfall and water table changes. ATM data interpretation has allowed mapping of extent of water bodies and different type of vegetation, mainly grassland and hygrophytic vegetation. Multiple-date Landsat imagery has been evaluated for identification and monitoring of water extent variation.

Keywords: dune ponds, wetlands, Doñana, Landsat, DS 1268 ATM

INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos de la comarca de Doñana representan uno de los enclaves húmedos con mayor valor ecológico de Europa. Aunque la marisma depende fundamentalmente de las aportaciones del sistema hidrológico superficial, otros importantes ecosistemas, como las lagunas permanentes y temporales, las zonas húmedas del contacto de las arenas y la marisma (ecotono) y algunos márgenes de arroyos dependen en gran medida de los aportes de agua subterránea. Sin embargo, los cambios que se han producido en los últimos años a causa de la transformación de ciertos sectores de la marisma, las extracciones de aguas subterráneas para riegos de uso agrícola realizados en su entorno y el desarrollo de áreas de presión urbana próximas a estas zonas húmedas, están provocando problemas zonales en el nivel freático del sistema acuífero Almonte-Marismas.

Diversos proyectos de investigación han abordado el estudio de las zonas húmedas de

Doñana desde distintas perspectivas, con objeto de mejorar el conocimiento de los factores hidrogeológicos, geomorfológicos y ecológicos que condicionan el funcionamiento del sistema acuífero. En este contexto, y en la búsqueda de indicadores que relacionen las manifestaciones de sequía en las zonas húmedas con las precipitaciones y la evolución de los niveles freáticos del acuífero, hemos abordado la interpretación de imágenes aeroportadas ATM y de satélite (Landsat TM y ETM) para la cartografía de las lagunas peridunares y el seguimiento temporal de sus fluctuaciones así como de la evolución temporal de los humedales del ecotono o área de contacto dunas-marisma durante el período 1985–2005. El trabajo que aquí se presenta es un estudio preliminar realizado en el marco del proyecto “*Estudio del Impacto de la Sequía en los Acuíferos de Andalucía*”, realizado por el IGME en convenio con la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

La serie temporal de imágenes registrada por los sucesivos satélites Landsat ofrece unas

posibilidades excepcionales para identificar y cartografiar los niveles de inundación y las variaciones temporales de las zonas húmedas a lo largo de una secuencia prolongada de condiciones hidrológicas diferentes. Las imágenes de satélite con resoluciones espaciales medias se han utilizado con buenos resultados para evaluar cambios en zonas lagunares y humedales (Vela et alii., 1999; Pérez González et alii. 2001, Castañeda, 2002). Son también numerosos los autores que han utilizado la teledetección espacial para realizar diversas cartografías temáticas en Doñana y su entorno.

ÁREA DE ESTUDIO

Con objeto de evaluar la potencialidad de las imágenes registradas por sistemas aeroportados y por satélites de resoluciones medias, se ha seleccionado un sector que comprende el conjunto de las lagunas peridunares (sistema de Santa Olalla), localizadas en el margen nororiental del cordón de dunas móviles, así como las numerosas zonas de encharcamiento temporales que se disponen en paleodepresiones eólicas al norte de este sistema lagunar y en el borde de la marisma.

Estas lagunas son freáticas y forman parte del sistema acuífero de Doñana, situándose en el Manto Eólico, entre Mazagón y la marisma (figura 1). Según la reciente tipificación hidrológica establecida en los humedales en Doñana en función de su posición respecto al acuífero regional (Manzano et

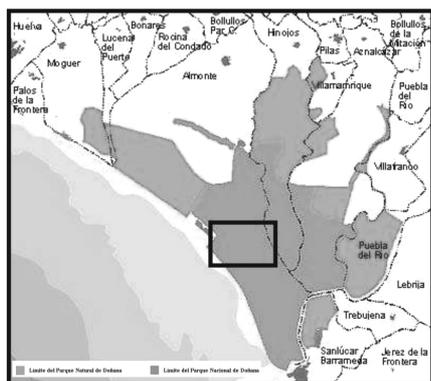


Figura 1. Situación del área de estudio en el parque Nacional de Doñana

alii., 2002), se sitúan tanto en el área de recarga con un carácter hipogénico temporal estacional, como en el área de descarga con carácter hipogénico permanente fluctuante. Están interconectadas a través del flujo subterráneo lo que explica las diferencias de salinidad que presentan sus aguas.

La profundidad del nivel freático es un factor condicionante en la distribución de la vegetación higrófila de matorral natural característica de la zona (monte negro), de tal manera que su disposición es un buen indicador de la profundidad de la superficie freática. Los descensos prolongados del nivel piezométrico debidos a cambios hidrológicos naturales o artificiales por extracciones intensivas pueden producir modificaciones severas en la descarga natural por los ecotonos y reducir la extensión de los humedales durante la estación seca.

El clima es de tipo mediterráneo, con una pluviometría media de 565 mm que puede reducirse a la mitad en años secos. La mayor parte de la precipitación anual se produce de octubre a marzo, con precipitaciones mínimas durante el verano, época en las que la mayor parte de la marisma se seca y la superficie inundada se reduce a algunas de las lagunas naturales y a las lagunas alimentadas artificialmente.

MATERIALES Y MÉTODO

Se han evaluado dos tipos de datos; por una parte, imágenes registradas por el sensor aeroportado DS-1268 (ATM) durante la última campaña (4 de octubre de 2001) realizada por el INTA en el marco del convenio IGME/INTA para el seguimiento de la limpieza de los lodos mineros del valle del Guadiamar. De la serie temporal de imágenes Landsat (escena 202-34), se han analizado las registradas en los años húmedos de 1990 (15/02/90 - 26/08/90) que corresponden al sensor TM de Landsat 5, y 2001 (20/01/01 - 06/09/01) del sensor ETM+ de Landsat 7. Estos pares de escenas son representativos de dos ciclos meteorológicos húmedos con fuertes variaciones estacionales.

IMÁGENES ATM

La línea ATM cubre un sector de 10 kms de largo por 1,5 km de ancho, desde el borde de la marisma, entre La Veta del Puntal y La Algaidilla, al este, hasta la laguna del Zahillo en el extremo noroccidental. El sensor ATM registra once bandas entre 0.42 y 13 μ m, compatibles espectralmente con el sensor Landsat TM. El INTA ha proporcionado datos calibrados radiométricamente. Las imágenes se han referenciado al sistema ED-50, con proyección cartográfica UTM huso 30. En una primera fase se ha procedido a la identificación y vectorización del borde de las lagunas y de las charcas con suficiente entidad.

En la sistemática utilizada para realizar la clasificación digital de la imagen, se han tomado como referencia las unidades del Manto Eólico Húmedo de Dunas Fitoestables (cotos) y del Contacto Marisma/Eólico-Costero (Vera-Retuerta), del Mapa Ecológico de Doñana (Montes et alii.,

1998), estableciéndose “a priori” varias categorías relacionadas con los cuerpos de agua y las unidades vegetales asociadas a una mayor humedad en el suelo, tales como “pastizales perennes/juncales”, “carrizales” y “zonas encharcadas” que puedan ser indicativas de las fluctuaciones del nivel freático del acuífero, particularmente durante el estiaje. El trabajo de campo se ha basado en la observación de la distribución horizontal de la vegetación. En el borde de las lagunas se desarrollan especies pascícolas, y carrizal y junqueras (*Phragmites australis*, *Juncus* sp) bordeando el pasto, donde el encharcamiento es menor. El pasto y las junqueras perilagunares se caracterizan por tener humedad durante todo el año (encharcamiento en la época invernal y afloramiento de humedad el resto del año). En la zona de contacto de las arenas y las arcillas de la marisma (ecotono), el afloramiento de la humedad filtrada por las arenas permite el desarrollo de juncales (*Juncus* sp), carrizales (*Phragmites australis*), pastizales perennes y especies higrófilas como lentisco (*Pistacea lentiscus* L.), zarzas (*Rubus* sp.) y brezos (*Erica* sp.). A partir de las observaciones de campo se ha realizado la clasificación supervisada de la imagen ATM (figura 2). Sobre un canal individual en se ha superpuesto el resultado de la clasificación con la cartografía de la lamina de agua de las lagunas, de las zonas encharcadas de borde con vegetación pascícola y juncales, y de las zonas húmedas de borde de la marisma, con carrizales y zarzales.

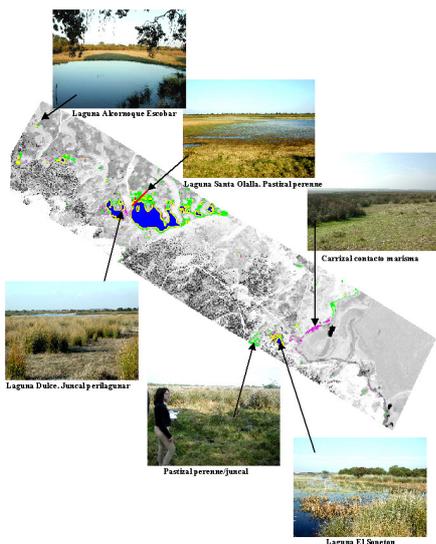


Figura 2. Clasificación de la imagen ATM

IMÁGENES LANDSAT.

Las imágenes Landsat de febrero de 1990 y enero de 2001, registradas después de intensas precipitaciones ofrecen una visión óptima de la marisma, de las lagunas permanentes y de las zonas de encharcamiento temporal estacional. Las registradas en agosto y septiembre de esos años, tras las nulas o escasas precipitaciones del verano, exhiben una situación muy diferente en la que solamente algunas de las lagunas mantienen agua. Se ha seleccionado la ventana correspondiente al área de las lagunas peridunares, que se extiende desde la Veta del Puntal, en el borde de la marisma, a la laguna del Brezo, cerca del límite occidental del Parque Nacional, e incluye las lagunas de Santa Olalla, Dulce, Taraje, Zahillo, Charco del Toro, Alcornoque Escobar, el Brezo y Las Pajas.

Una vez efectuada la normalización radiométrica de las imágenes respecto a la de enero de 2001, se ha realizado la corrección geométrica al mismo sistema de referenciación de las imágenes ATM. Para extraer la información relativa a los cuerpos de agua y a las zonas encharcadas, se han aplicado diversos algoritmos, como la segmentación de la banda TM5 y del NDVI, y la clasificación supervisada. El trabajo de campo y la interpretación previa de los datos ATM, ha permitido ajustar la interpretación de la imagen Landsat del mismo periodo. Sobre la imagen de septiembre de 2001 se han establecido dos categorías representativas de los cuerpos de agua y de las zonas encharcadas con vegetación pascícola y/o juncales y carrizales. Esta sistemática se ha aplicado al resto de las imágenes de la serie. El resultado de las clasificaciones supervisadas ha posibilitado la cartografía de las laminas de agua de los cuerpos lagunares y de las zonas húmedas con vegetación, tal y como se muestra en la figura 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La imagen ATM ha permitido discriminar no solo la lamina de agua de las lagunas peridunares, sino también los distintos tipos de vegetación asociada a las zonas húmedas del Manto Eólico y del borde de la marisma (ecotono). Las imágenes Landsat registradas en invierno y verano de 1990 y 2001 muestran las fluctuaciones estacionales anuales de las lagunas peridunares y de las zonas encharcadas con vegetación pascícola. La imagen de enero del 2001 pone de manifiesto el elevado nivel de agua de la mayor parte de las lagunas y las numerosas zonas encharcadas, como corresponde a un ciclo meteorológico húmedo. Sin embargo, en esta imagen, cabe mencionar el estado de desecación del Charco del Toro y de las charcas aledañas, situadas en el extremo occidental del cordón peridunar próximas a Matalascañas, que sí aparecen

con agua en las imágenes de febrero e incluso en agosto de 1990.

La fase preliminar de este trabajo muestra que el tratamiento de imágenes Landsat permite la cartografía de las laminas de agua de las lagunas peridunares y de las zonas húmedas de este sector. En fases sucesivas, se ha previsto completar la serie de imágenes Landsat para la cartografía de las lagunas permanentes y temporales, y de las zonas húmedas de la comarca de Doñana, durante el periodo 1985 a la actualidad, e incluyendo imágenes de mayor resolución espacial (Quick Bird e Ikonos). El objetivo último es estudiar las fluctuaciones de las lagunas y de las zonas de encharcamiento como posibles indicadores de las fluctuaciones del nivel freático del acuífero de Almonte-Marismas.

BIBLIOGRAFÍA

- Castañeda, C. 2002. El agua de Las Saladas de Monegros sur estudiada con datos de campo y de satélite. *Pub. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, ser invest.*, 158 p.
- Manzano, M., Borja, F. y Montes, C. 2002. Metodología de tipificación de los humedales españoles con vistas a su valoración funcional y a su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana. *Boletín Geológico y Minero*, 113 (3): 313-330
- Montes, C. Borja, F., Bravo, M.A., y Moreira J.M., (coord.) (1998). Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana. *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.* 311pp.
- Perez Gonzalez, M.A. y García Rodriguez, M.P. 2001. *Teledetección: Medio Ambiente y Cambio Global. Universidad de Lleida.* pp. 326-329.
- Vela, A., Mejuto, M.F., Castaño, S. y Calera, A., 1990. Efectos causados por los regadíos en la disponibilidad de recursos hídricos para el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. *Teledetección. Avances y Aplicaciones. Papeles de la diputación de Albacete.* pp. 11-114.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Teledetección del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial la cesión de las imágenes ATM. Así mismo, a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía que ha proporcionado la imagen Landsat de agosto de 1990. A Manolo Vázquez del IGME y a Miguel Angel Bravo de la Reserva Biológica de Doñana (CSIC) el apoyo prestado durante el trabajo de campo. Por último, a Carmen Coletto, con quien hemos comparado datos referentes a las superficies de Santa Olalla y La Dulce, donde realiza controles de los niveles de las lagunas y de los niveles piezométricos del acuífero.

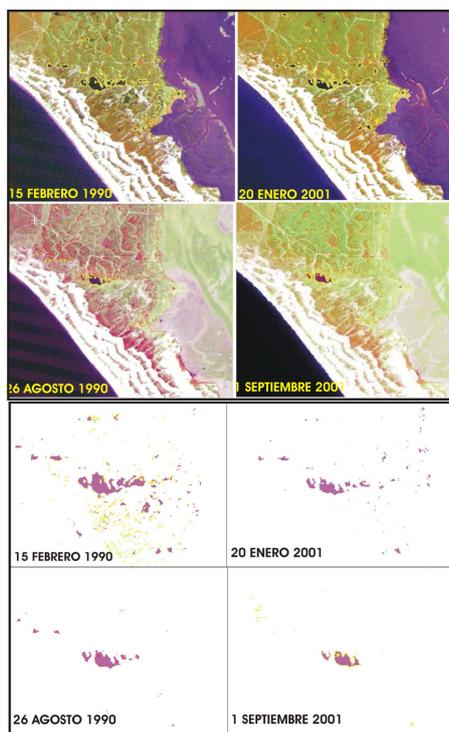


Figura 3. Imágenes Landsat y clasificación de lamina de agua y zonas encharcadas