

UNA METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LAS SALADAS DE MONEGROS SUR MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT TM

C. CASTAÑEDA, M. A. CASTERAD y J. HERRERO

ccastanneda@aragob.es

*Servicio de Investigación Agroalimentaria. Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC).
Apartado 727, 50080 ZARAGOZA.*

RESUMEN: El seguimiento y la conservación de humedales es posible con el conocimiento de su evolución y de su dinámica, y en primer lugar con el reconocimiento y localización geográfica de las superficies de agua. Las lagunas y otras depresiones saladas de Monegros constituyen hábitats de gran singularidad al situarse en la región interior más árida de Europa. Este trabajo presenta una metodología basada en la teledetección para estudiar los cambios experimentados por la lámina de agua libre y otras coberturas asociadas a las depresiones. Se discuten los resultados de diversas técnicas de análisis de las imágenes del satélite Landsat 5TM: interpretación visual, transformación HSI, análisis de componentes principales y clasificación no supervisada. Los datos de campo disponibles han servido para interpretar las imágenes y para corroborar los resultados obtenidos por teledetección.

Palabras clave: Monegros, salinas, superficie de agua, Landsat 5TM, clasificación no supervisada.

ABSTRACT: Wetlands monitoring and preservation is possible as we know their evolution and dynamics and in the first place their water surface's geographical location. Monegros' lagoons and other salt depressions are outstanding habitats because of their location in the region of Europe with the highest evapotranspirative deficit. This paper presents a methodology, based in remote sensing, to detect inland salt marshes change not only in water surface but also in associated covers. We discuss the results of applying different analysis to the Landsat 5TM imagery: visual interpretation, HSI transformation, principal components analysis and unsupervised classification. Available ground data have been used to interpret the images and to confirm the results.

Key words: Monegros, inland salt marshes, water surface, Landsat 5TM, unsupervised classification.

INTRODUCCIÓN

Monegros, con su secular reivindicación del regadío y sus actuales características naturales, es un ejemplo de la necesidad de cuidado especial para conciliar la producción agraria y la conservación del medio. Los humedales de Monegros Sur constituyen un auténtico laboratorio natural único en Europa por las particularidades de los procesos físicos que allí se desarrollan y de los seres vivos que albergan, adaptados a condiciones extremas, en especial a elevadas concentraciones de sales. Uno de los problemas para el seguimiento y conservación de estos humedales, aquí llamados saladas, es el desconocimiento de su evolución y de su dinámica, que requiere disponer de registros históricos de su estado hídrico, o al menos de la presencia de agua libre. La teledetección espacial proporciona datos retrospectivos

y permite un seguimiento sinóptico y sincrónico de amplias áreas, detectando factores condicionantes de la conservación ambiental, como el uso agrario y en particular, en tierras áridas, la implantación del regadío.

En el caso de Monegros son escasas las observaciones de campo disponibles para poder interpretar datos retrospectivos de satélite. Además, deben establecerse los procedimientos para analizar a partir de imágenes de satélite y datos de campo los cambios experimentados por las saladas del sur de Monegros.

OBJETIVO

Este artículo presenta la metodología adoptada dentro de un estudio en elaboración de la dinámica de las saladas del sur de Monegros durante la década 1987-1997. Se trata de identificar y delimitar la lámina de

agua libre y las orlas asociadas en las saladas de Monegros Sur, utilizando imágenes Landsat y la información retrospectiva de terreno disponible.

Esta metodología podrá aplicarse para estudiar la variación estacional e interanual de la lámina de agua, establecer la sensibilidad de las saladas a la lluvia y analizar los efectos de la puesta en riego los terrenos aledaños. Obviamente, la evolución espacial y temporal del agua condiciona no sólo el aprovechamiento agrícola, sino también la pervivencia de los ecosistemas actuales.

LAS SALADAS DE BUJARALOEZ-SÁSTAGO

El área de estudio forma parte de la zona regable de Monegros II, declarada de interés Nacional de Puesta en Riego por Real Decreto nº 37 de 9/1/1985 y afectada por el Plan General de Transformación por el Real Decreto nº 1676 de 1/8/1986.

Se encuentra en la provincia de Zaragoza en la comarca de los Monegros (Figura 1), una de las más áridas de España. Las precipitaciones son muy irregulares, con una media anual de 388 mm según el observatorio de Bujaraloez y ET_0 de 1255 mm (Faci y Martínez-Cob, 1991). El sur de los Monegros es una llanura desarrollada sobre estratos miocenos subhorizontales.



Figura 1. Localización del área de estudio.

El relieve, salpicado de depresiones a veces con agua y otras veces secas, se ha calificado de anárquico, con una red fluvial mal jerarquizada incapaz de drenar las depresiones (Alberto y col., 1984). Estas cubetas, objeto del presente trabajo, son rasgos muy destacados en el paisaje, como lo indica la existencia de un nombre popular (clotas). Algunas tienen agua poco profunda de modo más o menos intermitente, llegando a merecer el apelativo de lagunas. A menudo están limitadas por un escarpe a cuyo pie se disponen las distintas comunidades de halófitos que orlan el fondo desnudo u ocupado por agua. Balsa *et al.* (1991) localizaron un total de 99

depresiones situadas entre 310 m y 370 m de altitud. Funcionan como zonas de descarga del acuífero subterráneo (Berga, 1993; García 1996), pero la elevada evaporación condiciona la permanencia de agua en ellas.

Como indicaba Herrero (1982) además de la presión agrícola, muchas de estas cubetas soportan el vertido de escombros o de materiales de despedregue; otras han sido desecadas o niveladas recientemente.

En este trabajo se distinguen dos tipos de depresiones: las lagunas y las clotas. Las lagunas son unas 20, contienen agua entre 1 y 6 meses al año con un calado que no suele superar los 30 cm (Balsa *et al.*, 1991). Son más alargadas y asimétricas que las clotas y en sus orillas hay comunidades de halófitos. Durante el verano destacan en el paisaje como manchas blancas debido a las eflorescencias salinas que tapizan su fondo. Las lagunas suelen mantener el agua desde octubre hasta marzo, aunque también ocurren otras inundaciones intermitentes.

Las clotas son depresiones sin lámina de agua. Hay un total de 80. Se diferencian del entorno por su suelo más oscuro y húmedo, y por su vegetación natural halófila, aunque a veces se cultivan.

MATERIAL Y MÉTODO

Para este trabajo se ha dispuesto de:

1. Dos series de datos de campo: (i) las observaciones directas de Berga (1993) en la primera semana de cada mes indicando presencia o ausencia de lámina de agua libre en 11 lagunas desde enero de 1987 a septiembre de 1990 y (ii) las lecturas semanales del calado de 8 lagunas efectuadas sobre escalas instaladas en sus fondo por personal de la Dirección General del Medio Natural del Gobierno de Aragón desde marzo de 1993 a junio de 1997.

2. Once imágenes Landsat 5 TM, escena 31/199, de épocas de diferente pluviometría entre 1987 y 1997. Se han utilizado todas las bandas excepto la 6.

La metodología propuesta consta de cuatro fases:

1. Discriminación de la cobertura de agua.
2. Verificación de la información extraída de las imágenes satélite con los datos de campo en cuanto a la presencia de agua.
3. Cuantificación de las superficies de agua.
4. Discriminación de las coberturas de los fondos de lagunas y clotas y asignación a clases temáticas.

Estas fases se han materializado de la siguiente manera:

1. Corrección radiométrica de las escenas mediante el método de corrección atmosférica de Chávez (1988) y la conversión de los ND originales de la

imagen a valores de reflectividad (Chuvieco, 1966).

2. Recorte del área de estudio y corrección geométrica. La imagen de julio de 1997 se ha corregido tomando puntos de control en los mapas 1:25000 y 1:50.000 del IGN. Las demás se corrigieron respecto a ella obteniéndose un error medio cuadrático por debajo de los 18 m en todos los casos. Todas las imágenes se han remuestreado a 25 m.
3. Creación de una máscara mediante la digitalización sobre la imagen satélite de julio de 1997 del contorno de las depresiones de mayor tamaño.
4. Aplicación de dicha máscara a las imágenes corregidas. De este modo se segrega de la imagen la información espectral procedente de las lagunas y las clotas en cada fecha.
5. Ensayo de cuatro métodos de discriminación de la cobertura agua: (i) interpretación visual de cada una de las bandas y elección de la combinación de bandas más adecuada; (ii) transformación de las imágenes que recogían una mayor variedad de tonal (enero 1987, marzo 1993 y agosto 1989) mediante HSI y mediante (iii) análisis de componentes principales a todas las imágenes; y (iv) clasificación no supervisada de cada imagen ensayando un número variado de clústers.
6. Análisis visual de los resultados obtenidos y comparación con los datos de campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha conseguido discriminar cinco clases temáticas dentro de las depresiones: (1) agua, (2) suelo embebido en agua, (3) suelo húmedo, (4) vegetación y (5) suelo desnudo. En la Figura 2 se observa la distribución de dichas coberturas en abril de 1997, y en los párrafos siguientes se discuten los resultados obtenidos con cada método.

La interpretación visual de las bandas individuales muestra que las TM4 y TM5 son las más útiles. La TM5 diferencia los fondos húmedos del entorno seco de las depresiones y la TM4 permite discriminar zonas con diferente profundidad de agua y diferenciarlas del suelo húmedo. La combinación de bandas RGB 457 corrobora la interpretación obtenida a partir de las bandas individuales y mejora la discriminación visual de estados del suelo de los fondos.

La transformación HSI de las bandas TM 4, 3 y 2 es poco útil cuando se analiza por cada una de sus componentes. La componente intensidad no ha permitido discriminar ninguna de las coberturas. Sólo la componente tono ha permitido discriminar las cinco coberturas, si

bien no ha aportado más información que las bandas individuales de la imagen original. En cambio la composición en color HSI mejora los resultados de la combinación RGB 457 de las bandas originales, pues permite una mejor delimitación visual del agua frente al suelo embebido en agua y ofrece un mayor contraste visual entre el suelo húmedo, la vegetación y el suelo desnudo.

El análisis de componentes principales ha sido el método con peores resultados. Las componentes aisladas permiten delimitar las superficies de agua aunque en cada caso a través de una componente diferente, por lo que este tipo de transformación de la imagen no ha resultado ser un método para la discriminación sistemática de la superficie de agua. Lo mismo ocurre con el resto de las coberturas.

La clasificación no supervisada ha sido el método más idóneo de los ensayados para identificar la superficie de agua y discriminarla sistemáticamente del resto de las coberturas. Ha permitido determinar la extensión de la lámina de agua y separar diferentes estados del suelo (Escadafal, 1989) en el fondo de las lagunas y clotas. Además ha discriminado sistemáticamente dos coberturas de agua de diferente profundidad (1) agua: lámina de agua de calado apreciable en campo con escala y (2) suelo embebido en agua: área con barro o con agua cuyo calado no es medible mediante escala.

El clima de Monegros permite disponer de imágenes Landsat de épocas tanto con agua como sin agua en las depresiones. Con las primeras se determina la extensión del agua, y todas ellas discriminan diferentes estados del suelo.

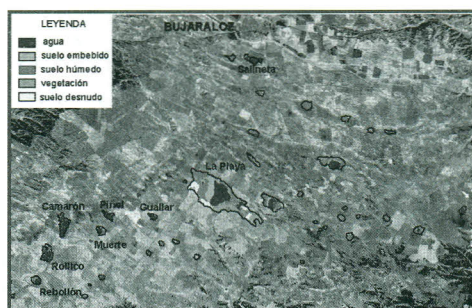


Figura 2. Clasificación no supervisada de las depresiones, presentada sobre la composición RGB. Imagen del 2 de abril de 1997.

Queda por ver si las limitaciones inherentes al tamaño de las depresiones, a la resolución espacial del sensor TM y a los datos de verdad terreno, permiten cuantificar los cambios en la vegetación y otros aspectos.

tos de la conservación de las saladas ocurridos en el período abarcado por las imágenes disponibles.

CONCLUSIONES

La evolución y dinámica de las saladas de Monegros Sur se puede caracterizar mediante imágenes de satélite y datos de campo.

La interpretación visual de una composición color de imágenes Landsat en un momento de lleno de las lagunas es suficiente para delimitar su contorno y determinar la presencia o no de lámina de agua libre en todas las depresiones.

De los cuatro métodos de discriminación ensayados, la clasificación no supervisada resulta el mejor para identificar y delimitar la lámina de agua libre y las orlas asociadas, así como para cuantificar su superficie.

La discriminación y cuantificación de las diferentes coberturas mediante el tratamiento de las imágenes de satélite complementa e incluso puede sustituir los datos de campo en el seguimiento de los cambios en el uso de este territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTO, F., GUTIÉRREZ, M. PEÑA, J., IBÁÑEZ, M.^a J., MACHÍN, J., POCOVÍ, A. y RODRÍGUEZ, J. 1984. El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de conocimientos existentes. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, 146 pp + mapas.
- BALSA, J., GUERRERO, C., PASCUAL, M. L. y MONTES, C. 1991. Las saladas de Bujaraloz-Sástagoy las saladas de Chiprana: riqueza natural de Aragón. Empelte 7. Grupo Cultural Caspolino. Caspe, Zaragoza.
- BERGA CELMA, A. 1993. Relaciones clima-agua-suelo-subsuelo en Monegros II. Tesis doctoral. Universidad de Lérida.
- CHAVEZ, P. S. Jr., 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479.
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de Teledetección espacial. 3ª edición. Rialp. Madrid. 568 pp.
- ESCADAFAL, R. 1989. Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie. Paris, 315 pp.
- GARCÍA VERA, M. A. 1996. Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos. Aplicación a los Monegros (Zaragoza y Huesca). Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón. Zaragoza.
- HERRERO, J. 1982. Salinidad del suelo en salobres de Monegros y Somontano oscense como condicionante de la vegetación. Institución Fernando el Católico. Zaragoza, 50 pp.
- PEDROCCHI RENAULT, C. (Coordinador) 1998. Ecología de Los Monegros. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca, 430 pp.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General del Medio Natural de Aragón por haber facilitado los datos de campo. Este trabajo se enmarca en la Acción Especial 00-31, cofinanciada por INIA y el Gobierno de Aragón.