

TELEDETECCIÓN EN REGADÍOS Y EN ESPACIOS NATURALES ÁRIDOS DE ARAGÓN

M^a Auxiliadora Casterad ¹, Carmen Castañeda y Juan Herrero
*Servicio de Investigación Agroalimentaria. Diputación General de Aragón.
Apartado 727, 50080 Zaragoza. e-mail:acasterad@aragon.es*

Dr. Juan Herrero Isern
Affiliation and Address actually:
**Estación Experimental de Aula
Dei (EEAD-CSIC)**
Soil and Water Department
Avda. Montañana 1005,
Zaragoza (Spain)
jhi@eead.csic.es

Palabras clave: Landsat, aplicaciones agrarias, aplicaciones ambientales, regadío, salobres

Resumen

Desde hace unos catorce años, la Unidad de Suelos y Riegos del SIA-DGA viene desarrollando aplicaciones agrarias y ambientales de la teledetección. El objetivo es obtener nuevos conocimientos y modelos de funcionamiento del territorio mediante satélites de recursos naturales e información de terreno. Para ello cuenta con programas de tratamiento de imágenes de satélite y de sistemas de información geográfica. Se muestran a continuación algunas aplicaciones desarrolladas en dicha Unidad dentro de las líneas de actuación (i) seguimiento del regadío y (ii) estudio de la evolución y dinámica de lagunas saladas. En todas estas aplicaciones se utilizan imágenes Landsat TM y/o ETM+.

El grupo de teledetección del Servicio de Investigación Agroalimentaria

Las actividades de teledetección en el SIA comenzaron en 1989 con un proyecto de investigación, recurriendo al tratamiento de imágenes en equipos de otros Centros. Los primeros resultados se obtienen en 1990, y entonces se inician las gestiones para dotarse de infraestructura. En 1993 el gabinete de teledetección ya es totalmente operativo. Las actividades que se llevan a cabo se financian fundamentalmente mediante proyectos de investigación. Los resultados obtenidos se dan a conocer en revistas internacionales, nacionales, congresos, charlas de divulgación, etc. En cuanto a la formación de estudiantes, se dirigen y tutelan trabajos de investigación de fin de carrera, tesis máster, tesis de licenciatura y tesis doctorales. Así mismo se participa en universidades españolas y otra instituciones impartiendo clases a estudiantes universitarios en cursos de postgrado y de doctorado.

Para todo ello se cuenta con una infraestructura recientemente actualizada que incluye diferentes software para análisis y tratamiento de imágenes de satélite (Erdas, ER Mapper e Idrisi) y software relacionado con tratamiento de coberturas y Sistemas de Información Geográfica (Arcview, ArcInfo e Idrisi). Se dispone, además, de un Sistema de Posicionamiento Global.

1. Seguimiento y evolución de cultivos en regadíos aragoneses

1.1 Estadística de superficies

La demarcación elemental en la confección de estadísticas oficiales de superficies de cultivos en España es el municipio. Como en general la delimitación de los regadíos no coincide con términos municipales ni con su agregación, esas cifras oficiales no permiten deducir la estadística de los cultivos existentes en un regadío determinado. La primera aplicación de la teledetección desarrollada por el Grupo fue adaptar a pequeñas demarcaciones el método del muestreo por marco areolar y estimador por regresión con las cifras obtenidas por clasificación supervisada de imágenes de satélite [1]. Esta fue la primera vez que se aplicaba en Aragón ese método, logrando estadísticas de superficies de cultivos en regadíos. El método es el utilizado por la Unión Europea para formar inventarios regionales. Se obtiene un avance de las estadísticas por expansión directa de los resultados del muestreo, y aplicando un estimador de regresión con los datos de satélite se mejoran la estimaciones y sus intervalos de confianza.

El Grupo ha producido con este método aforos de superficies en los regadíos indicados en la Tabla 1, y ha puesto a punto la metodología para poder aplicarla en cualquier demarcación. La clasificación de las imágenes, además de dar la superficie ocupada por cada cultivo, ha proporcionado los mapas de cultivos y otras ocupaciones de los regadíos y años estudiados. Esta localización de los cultivos es clave para las actuaciones de política agraria, para la modelización, o para aplicaciones medioambientales.

¹ Ponente

Tabla 1: Regadíos cuya estadística de cultivos ha sido obtenida en la Unidad de Suelos y Riegos del SIA.

Regadíos	Provincia	Año	Superficie (km ²)	Superficies obtenidas por
Huerta de diez municipios ribereños del Ebro	Zaragoza	1990	154	Expansión, clasificación, regresión
Nuevo regadío Quinto	Zaragoza	1990	32	Expansión, clasificación, regresión,
Regadío de Flumen	Huesca			
Sector de riego del IV al XI		1990	257	Expansión, clasificación, regresión
		1991	263	Expansión, clasificación, regresión
Sector de riego del I al XI		1993, 1994, 1996 1997-2000	327	Expansión, clasificación, regresión Expansión, clasificación
Alfamen-Almunia	Zaragoza	1994	158	Expansión, clasificación, regresión
Riegos del Alto Aragón: Flumen, Violada, Monegros I tramos 2,3, 4	Huesca	1998, 1999, 2000	1685	Clasificación

1.2 Evolución de superficies ocupadas por cultivos

Se han hecho varios trabajos para estudiar la evolución de la superficie ocupada por diferentes cultivos. Para ello se han utilizado mapas de cultivos obtenidos mediante interpretación visual, clasificación supervisada o clasificación no supervisada de imágenes de satélite multitemporales. Así se han visto, por ejemplo, los cambios en superficie y distribución de los principales cultivos del regadío de Flumen en la década de los 90 (Figura 1); o la evolución de la superficie de arroz en la provincia de Huesca de 1991 a 1996 (Figura 2) [2]. Esta información, difícil de obtener con otros medios, es básica para la gestión del territorio.

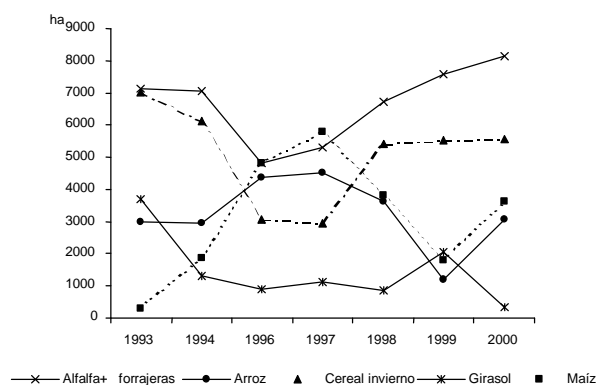


Figura 1: Evolución de las superficies de los principales cultivos del regadío de Flumen (Huesca)

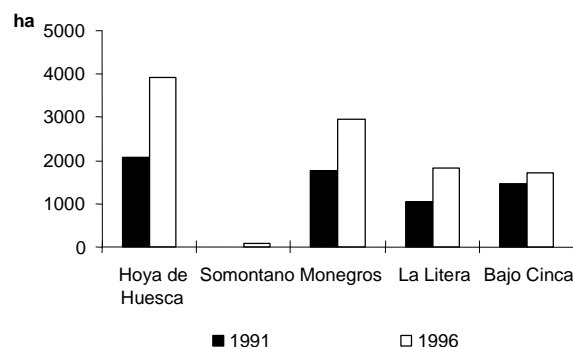


Figura 2: Superficie de arroz estimada por clasificación supervisada de imágenes Landsat TM en las comarcas de Huesca.

1.3 Seguimiento del estado vegetativo del olivar

En el olivar de Belchite (Zaragoza), de aproximadamente 1000 ha, se ha desarrollado otra aplicación diferente (Figura 3). Se ha estudiado el comportamiento del olivar en la última década. Para ellos se han analizado y comparado composiciones en color de imágenes Landsat de distintos años y mapas de vigor vegetativo generados a partir de índices de verdor (Figura 4). Se han detectado los cambios en el estado vegetativo del olivar y su asociación con el manejo del riego [3].

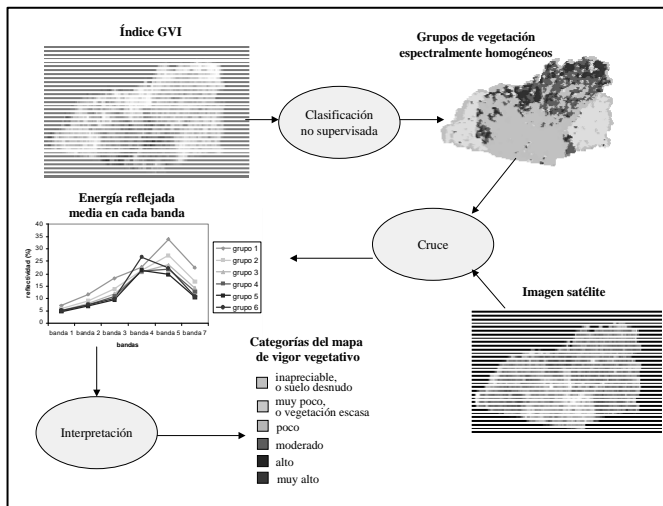


Figura 3: Esquema del proceso de generación de mapas de vigor vegetativo en el olivar de Belchite

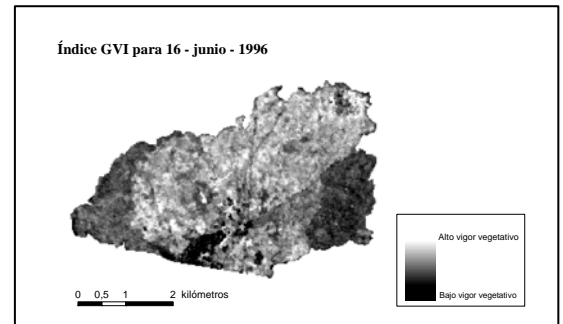


Figura 4: Índice de verdor calculado a partir de una imagen Landsat TM para el 16 de junio de 1996

1.4 Detección de anomalías de desarrollo de los cultivos

En la actualidad se trabaja en la detección de irregularidades intraparcelares en el desarrollo de los cultivos (Figura 5). Se pretende ver hasta qué punto los satélites actuales pueden ser una fuente de datos para la agricultura de precisión en regadíos mediterráneos. En este sentido se están desarrollando aplicaciones basadas en el índice de vegetación normalizado para detectar anomalías en el desarrollo, y se está creando un SIG para la cuantificación y seguimiento de dichas irregularidades.

De momento se trabaja con imágenes Landsat de 30 m de resolución espacial en las bandas multiespectrales, pero se están explorando las posibilidades de la fusión de las bandas multiespectrales con la pancromática de 15 m de resolución, las imágenes de Aster con 15 m de resolución espacial, y las de Ikonos o QuickBird con 2.5 m a 4 m en imágenes multiespectrales y de 1 m o menos en pancromáticas. Aunque estas resoluciones amplían notablemente las posibilidades de detección de fenómenos intraparcelares, los mencionados satélites se utilizan sobre todo en cartografía urbana, y muy poco en agricultura, debido tanto a la falta de desarrollo de aplicaciones como al precio de las imágenes. Sin embargo, siendo presumible su abaratamiento, conviene conocer sus posibilidades y poner a punto aplicaciones operativas.

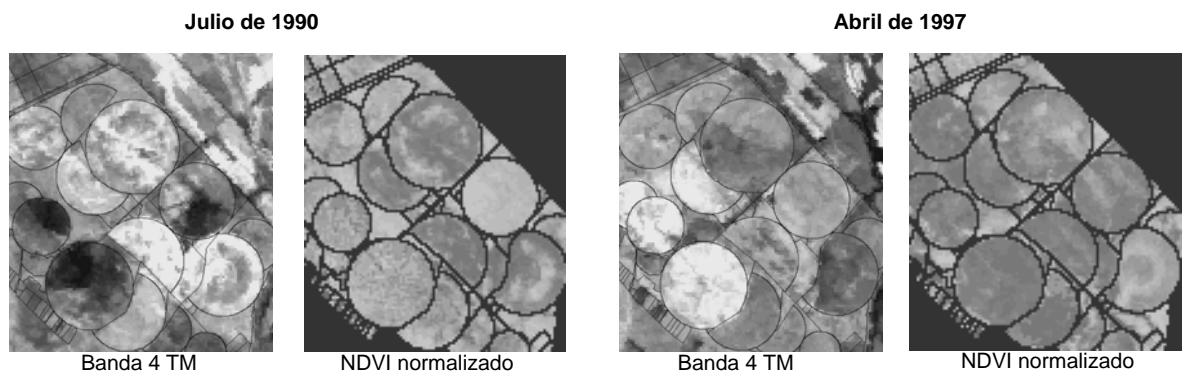


Figura 5: Ejemplos de irregularidades intraparcelares y su detección mediante índices de vegetación

2. Gestión del agua de riego y control de su aplicación

2.1 El método Irrivol

En el centro del valle del Ebro, como en muchos países áridos, el control y la medida del agua de riego es de vital importancia dado lo estratégico de este recurso y su escasez. La enconada competencia por el agua pone en primer

plano la necesidad de herramientas y métodos para su gestión y control. En el SIA se ha desarrollado Irrivol [4,5], un método para predecir, estimar y cartografiar los volúmenes de riego aplicados a un regadío. El método combina datos de terreno, agrometeorológicos y de satélite, y requiere para su aplicación conocer la superficies y las necesidades hídricas de cada cultivo en el territorio a estudiar. Para aplicar Irrivol, esta información puede obtenerse, entre otras fuentes, de imágenes de satélite. Así, las superficies de los cultivos se pueden saber mediante tratamiento digital de imágenes de satélites de recursos naturales como Landsat o Spot, y la evapotranspiración de los cultivos puede estimarse combinando la información suministrada por estos satélites con la de otros como NOAA de menor resolución espacial pero con mayor información en la región del infrarrojo y del térmico, y mayor resolución temporal.

Irrivol se ha aplicado durante varios años en diferentes regadíos altoaragoneses, mostrando sus grandes posibilidades como herramienta de control y gestión del agua de riego. El método también permite detectar posibles anomalías o desviaciones en el uso del agua, así como estimar la cantidad de agua utilizada en áreas donde no hay facturación, o la detraída para riego desde cauces superficiales o desde pozos. Así mismo es posible evaluar las eficiencias de los diferentes sistemas de riego [6].

La información generada mediante Irrivol se puede incorporar a un SIG, lo que permite estimar el volumen de riego para una porción arbitraria del territorio, obtener mapas de aplicación de agua por unidades políticas como municipios, comunidades de regantes u otras, o bien físicas como unidades cartográficas de suelos, subcuencas, sectores de riego, etc. (Figura 6)

Las características y objetividad del método lo hacen idóneo para conocer el uso y destino del agua de riego en cualquier demarcación y poder así controlar actuaciones y posibles conflictos.

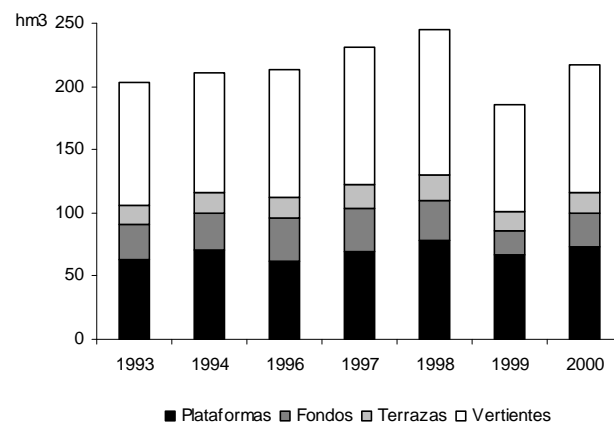


Figura 6. Evolución anual de los volúmenes de riego en las diferentes unidades morfoedáficas del regadío de Flumen (Huesca)

2.2. Desarrollos de Irrivol

El conocimiento de la fisiología hídrica del polígono de riego es en muy incompleto en casi todos los regadíos. No en todos se afora el agua suministrada, y los datos de su distribución dentro de cada polígono son de calidad dispar, a menudo inaccesibles, y casi nunca pueden desglosarse mensual o anualmente. Las capacidades de Irrivol de pronosticar y de cartografiar píxel a píxel y casi en tiempo real las cantidades de agua aplicadas a un regadío, sin apenas información de terreno, han abierto un abanico de posibilidades de modelización de cualquier regadío. Los mapas obtenidos con Irrivol se pueden cruzar con mapas de suelos, de infraestructuras, o de otros rasgos del territorio, y generar modelos de comportamiento del regadío. Así, Irrivol se ha utilizado [7] para simular efectos del cambio de sistema de aplicación de agua de riego y para estimar el porcentaje de reutilización difusa de agua de riego en el interior del polígono, cuestiones ambas de interés en el diseño de políticas hidráulicas.

Si la información generada mediante Irrivol se combina con mapas de suelos [8], se pueden prevenir problemas ambientales ayudando a detectar áreas propensas a alimentar flujos laterales subsuperficiales, a encharcamiento, a salinización/desalinización, a contaminación por agroquímicos, etc. En esta línea se están trabajando actualmente y se han obtenido ya las primeras aproximaciones y primeros mapas de riesgo de contaminación para un regadío con problemas de salinidad (Figura 7).

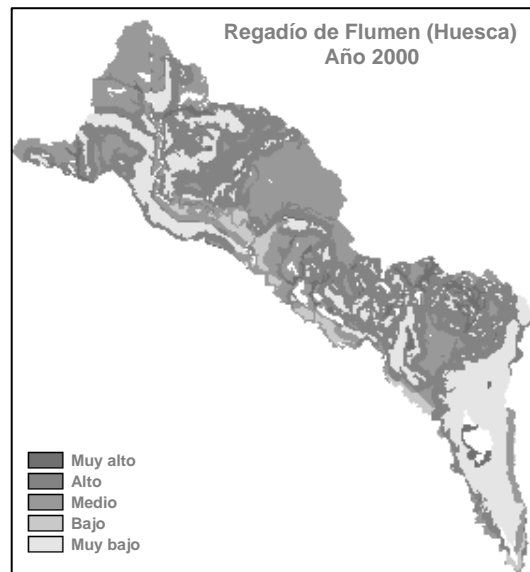


Figura 7. Ejemplo de mapa de riesgo de salinización de suelos

3. Evolución y dinámica de lagunas saladas en medios áridos

En Monegros, comarca situada en el centro del valle del Ebro, la producción agraria compete con la conservación de un ambiente árido singular y único en Europa. Las saladas del sur de Monegros son hábitats de gran fragilidad y con riesgo de desaparición debido al avance de los nuevos regadíos. Una parte de dichos hábitats cuenta actualmente con protección legal ambiental.

3.1 Caracterización de las saladas

La primera actuación desarrollada por el Grupo en esta línea de trabajo ha sido la revisión de los inventarios ya existentes de lagunas y depresiones, y su confrontación en un SIG con el inventario obtenido mediante teledetección. Se han reconocido las saladas registradas por diversos autores, constatando la desaparición de algunas.

La teledetección ha permitido discriminar satisfactoriamente el agua y sus orlas asociadas en las saladas. Para su identificación y para la cuantificación de la superficie de agua y las facies asociadas se ha utilizado la clasificación no supervisada de imágenes Landsat 5TM y 7ETM+ [9].

Para la catalogación de las facies típicas de estas saladas ha sido necesario establecer unos criterios basados en la integración de datos de satélite con las observaciones de campo y en los datos bibliográficos. El catálogo obtenido contiene la primera descripción temática detallada de las saladas, fundamental para diseñar su seguimiento. Dicho catálogo presenta la descripción de cada facies detallando su localización, distribución, cuantificación, grado de discriminación visual y firma espectral. También incorpora información gráfica como fotos de campo, imágenes de satélite y mapas temáticos de las coberturas en diferentes épocas del año (Figura 8).

2.2 Evolución de las saladas hasta la actualidad

Las imágenes Landsat TM y ETM+ han proporcionado valiosa información acerca de las saladas y depresiones de Monegros. Han servido para completar los registros de campo y han aportado datos retrospectivos de gran utilidad en el estudio de la evolución de la superficie ocupada por cada una de las coberturas catalogadas, desde 1985 hasta la actualidad [10]. Teniendo en cuenta que los datos de campo son escasos y puntuales, la información generada mediante el tratamiento de las imágenes Landsat constituye el registro más largo existente de datos sobre la presencia de agua en estos humedales.

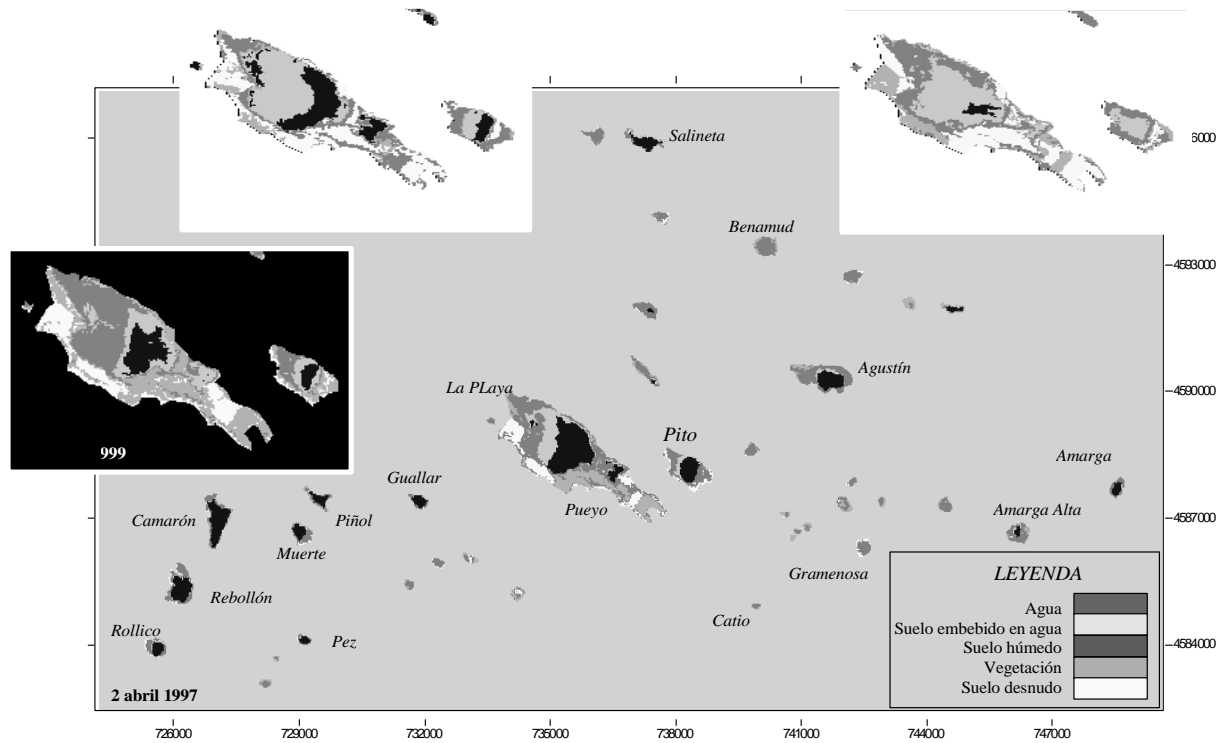


Figura 8. Mapa temático obtenido mediante clasificación no supervisada en fechas de máxima humedad durante los años estudiados.

También se ha estudiado la variabilidad de la lámina de agua con relación a factores climáticos como son las lluvias y la evaporación, contribuyendo así al conocimiento del régimen hídrico de estos humedales antes de la implantación de los nuevos regadíos (Figura 9).

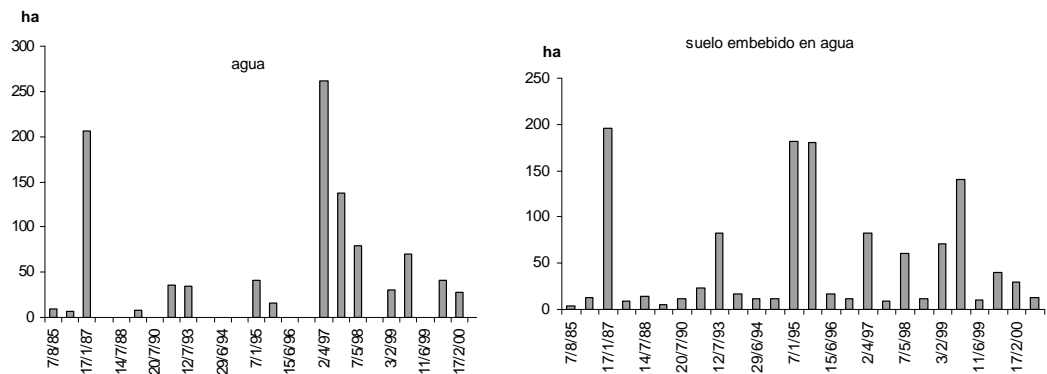


Figura 9. Distribución de dos de las coberturas obtenidas mediante clasificación no supervisada entre 1985 y 2000: agua y suelo embebido en agua.

2.3 Seguimiento y vigilancia de las saladas

Ante el establecimiento de la agricultura intensiva en el área, se han impuesto diversas restricciones entre las que cabe destacar la exclusión de algunas lagunas y depresiones de la transformación a regadío. Sin embargo, debido a la conexión existente entre las saladas y las aguas subterráneas, la aportación de nuevos volúmenes de agua es una amenaza para la persistencia de los hábitats actuales, caracterizados por la alternancia de periodos secos y húmedos. Comparando el comportamiento natural de las lagunas (Figura 10) antes de la puesta en riego, con su evolución posterior, se puede establecer el grado de afección de las saladas, que verán modificados tanto sus ciclos de inundación como su tasa de evaporación.

Actualmente se trabaja en el seguimiento de las saladas basado en técnicas de teledetección para advertir de la presencia de agua en épocas de presumible sequía. Con estos datos se podrán establecer pautas de vigilancia y comunicación de alarmas ambientales en el manejo de los regadíos.

2.4 Aportaciones de la teledetección radar

Se va a iniciar un estudio, en colaboración con investigadores del Instituto de Geomática, en el que se van a explotar imágenes de radar utilizándolas de manera independiente y combinándolas con datos del satélite Landsat. De este modo se pretende profundizar en el seguimiento, delimitación y cuantificación de otros aspectos de interés en las lagunas y depresiones de Monegros. Éstos son: la vegetación natural cuya extensión en forma de orlas de diferentes tipos de halófitas se ve limitada por la del área de inundación de las lagunas; la topografía del fondo de las depresiones, cuya variabilidad debida sobre todo a efectos del viento, ha sido reconocida en repetidas observaciones de campo; la presencia de humedad en los suelos del fondo de las depresiones y la evolución de la lámina de agua. Además, las imágenes de radar están disponibles a pesar de las condiciones atmosféricas.

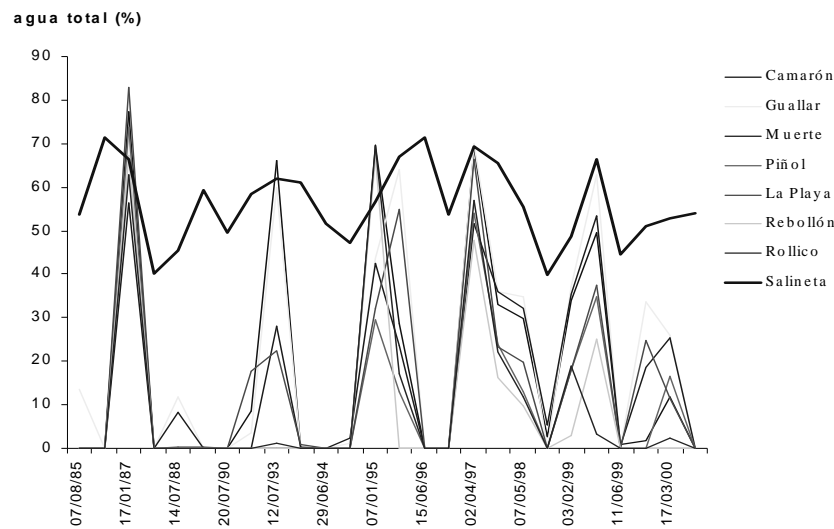


Figura 10. Porcentaje de la superficie de agua que ocupa el fondo de las ocho saladas más grandes, entre 1985 y 2000.

4. Otras aplicaciones

En el aspecto forestal, se ha utilizado la teledetección en un programa de mejora genética forestal de *Pinus Halepensis* Mill. Se ha desarrollado una metodología para discriminar, seleccionar y jerarquizar calidades de masas utilizando imágenes de satélite [11]. Esta metodología basada en clasificaciones no supervisadas sucesivas y en el NDVI se ha ensayado en dos áreas de estudio (Tabla 2) proporcionando una cartografía temática de calidades de masa preferentes para selección, de gran utilidad para los mejoradores al facilitarles la selección fenotípica masal.

Tablas 2. Las calidades de pinar jerarquizadas mediante teledetección en Zuera y Castejón de Valdejasa y en la Sierra de Alcubierre (Aragón, España).

Zuera y Castejón de Valdejasa	
Calidad I: Con prioridad preferente de selección	Pinar denso
Subcalidad Ia	Pinar denso con NDVI en julio > 0.6
Subcalidad Ib	Pinar denso con NDVI en julio < 0.6
Subcalidad Ic	Pinar denso en sombra
Calidad II: Con prioridad secundaria de selección	Otras formaciones de pinar
Calidad III: Rechazada para selección	Pinar incendio
Alcubierre	
Calidad I: Con prioridad preferente de selección	Pinar denso
Subcalidad Ia	Pinar denso con NDVI en julio > 0.6
Subcalidad Ib	Pinar denso con NDVI en julio < 0.6
Calidad II: Con prioridad secundaria de selección	Otras formaciones de pinar

Agradecimientos

Este trabajo presenta resultados obtenidos en diferentes proyectos de investigación financiados por INIA (Ministerio de Ciencia y Tecnología), y por el Gobierno de Aragón a través de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos.

Referencias

- [1] Casterad, M^a A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 11 (2): 255-279.
- [2] Anane, M., Casterad, M.A., y Herrero, J. 2001. Las superficies arroceras de Huesca en 1991 y 1996 estudiadas con una imagen anual de Landsat TM. *Revista de Teledetección. AET*, 16: 5-9.
- [3] López-Lozano, R., y Casterad, M.A. 2002. La modernización del riego en el olivar de Belchite vista desde satélite. *Surcos de Aragón*. Aceptado.
- [4] Casterad, M^aA. y Herrero, J. 1998. Irrivol: A method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district. *Water Resources Research* 34 (11): 3045-3049.
- [5] Herrero, J. y Casterad, M^aA. 1999. Using satellite and other data to estimate the annual water demand of an irrigation district. *Environmental Monitoring and Assessment* 55 (2): 305-317.
- [6] 1999-PH-32-J. Confederación Hidrográfica del Ebro/SIA-DGA. Septiembre-Diciembre de 1999. "Comparación suministros/demandas de 1998 para diferentes polígonos de Riego del Alto Aragón" 32 páginas, planos e imágenes digitales.
- [7] Nogués, J. y Herrero, J. 1998. Uso de información georreferenciada de suelos y de cultivos para pronosticar resultados de la modernización de un regadío a pie. XVI Congreso Nacional de Riegos. Palma de Mallorca, junio 1998. Asociación Española de Riegos y Drenajes. Govern Balear. pp. 519-526.
- [8] Martín-Ordóñez, T., Casterad M^a A. y Herrero, J. 2000. Three years of mapping irrigation water in the Flumen irrigation district, Spain, pp. 191-194 en J.L. Casanova (Ed.): *Remote Sensing in the 21st Century: Economic and Environmental Applications*. Balkema, Rotterdam, 610 pp.
- [9] Castañeda, C., Casterad, M.A. y Herrero, J. 2001. Una metodología para el estudio de las saladas de Monegros Sur mediante imágenes Landsat TM. En J.I Rosell. y J.A. Martínez-Casasnovas (Coordinadores) *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, pp: 306-309. IX Congreso Nacional de Teledetección, Lérida, 19-21 Septiembre.
- [10] Castañeda, C. 2002. El agua de las saladas de Monegros sur estudiada con datos de campo y de satélite. Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón, Zaragoza. 158 pp.
- [11] Baraza, C; M^a A Casterad, E. Notivol. 2001. Teledetección en un programa de mejora genética forestal de *Pinus Halepensis* Mill. En: *Montes para la sociedad del nuevo milenio*. III Congreso Forestal Español. Tomo III. pp:29-35. Editado por la Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.