C//Lérida nº18 22500 Binéfar (Huesca)
Tfno: 974428429 cayc@cayc.es

Avda.Montañana 930, 50059 Zaragoza
Tfno: 976716300 Fax: 976716335 cita@aragon.es

Convenio CITA-CGRCAYC

Monitorización con teledetección de la superficie cultivada y evolución de su desarrollo vegetativo en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña en verano de 2013

MEMORIA

Elaborada por *Mª Auxiliadora Casterad,* (Investigadora), *Clara Portero* (Ingeniero Técnico Agrícola) y *Rosa Gómez* (Técnico en SIG).

Unidad de Suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.

Zaragoza, 31 de diciembre de 2013

GOBIERNO DE ARAGON
Departamento de Industria e Innovación

RESUMEN

En respuesta al interés mostrado por la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña por tener información relativa a los cultivos de su zona regable (tipo de cultivo implantado, superficie que ocupa, desarrollo y grado de madurez a lo largo de la campaña agrícola, etc.) se procede a la monitorización con teledetección de la superficie cultivada y evolución de su desarrollo vegetativo en la zona regable de l Canal de Aragón y Cataluña en verano de 2013.

A partir de información extraída de diez imágenes del satélite Landsat 8 correspondientes al periodo 25 de mayo - 14 de septiembre de 2013, se consigue identificar con alta fiabilidad los principales cultivos y otras ocupaciones de la zona regable, conocer su superficie y saber cómo se distribuyen espacialmente en la comunidad, en cada fielato y en cada comunidad de regantes. Así mismo, se obtiene información sobre la evolución del desarrollo vegetativo de los cultivos en las mencionadas demarcaciones a lo largo del verano de 2013.

Los resultados obtenidos revelan que en verano de 2013 el 30% de la superficie de la zona regable corresponde a *Cultivos de verano*, el 24% a *Leñosos*, el 24% a *Forrajeras* (Alfalfa) y el 20% a *Sin cultivo*. El 2% restante lo ocupan *Otros cultivos* y las *Masas de agua*. En los fielatos se identifican tres tipologías diferentes: el fielato *Almunia* con la mayor parte de su zona regable, un 42%, ocupada por Cultivos de verano y un 36% por Sin cultivo; *Fraga*, con claro predominio de los Leñosos, 58%, y sólo 10% Sin cultivo; y el resto, *Raimat, Tamarite* y *Zaidín* con predominio de los Cultivos de verano y donde la superficie Sin cultivo está entre el 20 y 23% y la Alfalfa cercana o algo superior el 25%. En la mayoría de los fielatos y fechas predomina la superficie con alto desarrollo vegetativo (NDVI>0,5). Los cultivos y ocupaciones presentes en cada momento, su representación en cuanto a superficie y su ciclo fenológico repercuten en la cantidad de vegetación activa y por tanto condicionan la evolución del desarrollo vegetativo en cada fielato y comunidad de regante.

Los procedimientos seguidos y las imágenes utilizadas han resultado adecuados para los propósitos perseguidos. Sin embargo, la discriminación de cultivos y su grado de desarrollo se pueden optimizar en el futuro mejorando la representatividad de los mismos en la muestra de parcelas verdad terreno, ya que se han detectado algunas deficiencias al respecto; ampliando el periodo de adquisición de imágenes a otras fechas en las que los cultivos de invierno, leñosos o permanentes estén vegetativamente activos; y utilizando imágenes de mayor resolución espacial para intentar discriminar con más especificidad cultivos tan relevantes como los leñosos.

	Convenio CITA-CGRCAYC *Monitorización con teledetección de la superficie cultivada y evolución de su desarrollo vegetativo en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña en verano de 2013*
	Memoria

ÍNDICE

MEMORIA

Página

1- INTRODUCCIÓN 1
1.1 Motivación del trabajo 1
1.2 Objetivos 1
1.3 Actividades desarrolladas 1
1.4 Estructura de la memoria 2
2- ÁREA DE ESTUDIO 3
3- METODOLOGÍA SEGUIDA 4
3.1 Definición de las especificaciones cartográficas del trabajo 4
3.2 Recopilación y puesta a punto de información básica territorial y de cultivos 4
Información territorial 4
Información cultivos 5
3.3 Determinación de la estrategia a seguir 7
3.4 Selección, preparación y extracción de información de las imágenes de satélite 7
Selección y adquisición 7
Preparación 8
Extracción de información 8
3.5 Identificación y seguimiento de los cultivos 8
Identificación de cultivos 8
Evolución del desarrollo vegetativo 10
3.6 Información generada 11
4- RESULTADOS OBTENIDOS 12
4.1 Disponibilidad de información 12
Información territorial 12
Información de cultivos 12
Imágenes 13
4.2 Identificación de los cultivos 15

4.3 Evolución del desarrollo vegetativo.....22
En la zona regable del CGRCAYC.....22
Según cultivos 26
5- CONCLUSIONES 30
Proyecto SIG.....DVD adjunto

ANEJO I - DATOS

Anejo I.1 - Proyecto SIG

- Proyecto SIG: Contenidos y especificaciones
- Información complementaria

Anejo I.2 - Trabajo de campo: verdad-terreno

- Información incluida en el dossier suministrado a cada encuestador
- Características de la muestra de parcelas de verdad-terreno

Anejo I.3 - Cultivos y ocupaciones

- Superficies de los cultivos y ocupaciones de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña
- Matrices de confusión en la identificación de los cultivos y ocupaciones de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña

ANEJO II - FIGURAS

Anejo II.1 - Vistas de imágenes de satélite

- Vista de las imágenes disponibles con problemas una vez descartadas las completamente nubosas

Anejo II. 2 - Mapas de cultivos y ocupaciones

- Cultivos y otras ocupaciones en al zona regable de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña. Verano2013.
- Cultivos y otras ocupaciones en la zona regable de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña. Año 2013.

Anejo II. 3.- Láminas de evolución del desarrollo vegetativo

- Superficie (%) de cada Fielato de la Comunidad General de Riegos del Canal de Aragón y Cataluña según categorización de NDVI
- Grado de desarrollo vegetativo predominante en cada Fielato
- Grado de desarrollo vegetativo predominante en cada Comunidad de Regantes
- Superficie (%) de cada Fielato con escaso o nulo desarrollo vegetativo
- Superficie (%) de cada Comunidad de regantes con escaso o nulo desarrollo vegetativo
- Superficie (%) de cada Fielato con desarrollo vegetativo medio
- Superficie (%) de cada Comunidad de regantes con desarrollo vegetativo medio
- Superficie (%) de cada Fielato con buen desarrollo vegetativo
- Superficie (%) de cada Comunidad de regantes con buen desarrollo vegetativo

1- INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación del trabajo

Las imágenes de satélite son una herramienta idónea para ofrecer periódicamente información localizada espacialmente y actualizada sobre los cultivos y su evolución. La Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC) está interesada en conocer las posibilidades de la teledetección para la identificación y seguimiento de cultivos en su comunidad como soporte a la toma de decisiones relativas a las dotaciones de agua de riego. Para ello, se establece con el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) el convenio de colaboración *Monitorización con teledetección de la superficie cultivada y evolución de su desarrollo vegetativo en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña en verano de 2013.*

1.2 Objetivos

Los objetivos que se persiguen son: (i) Obtener con imágenes de satélite el mapa de cultivos y ocupaciones en el Canal de Aragón y Cataluña para verano 2013; (ii) Analizar la distribución espacial de los cultivos y (iii) Conocer la evolución del desarrollo vegetativo de cultivos durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2013.

1.3 Actividades desarrolladas

- Definición de las especificaciones cartográficas del trabajo.
- Recopilación y puesta a punto de información básica territorial y de cultivos.
- Determinación de la estrategia a seguir.
- Selección, preparación y extracción de información de las imágenes de satélite.
- Identificación y seguimiento de los cultivos.
- Generación de informes.

1.4 Estructura de la memoria

La memoria presentada contiene la información relativa a los trabajos desarrollados dentro del convenio. Consta de tres documentos y un DVD. La metodología seguida, así como los resultados y conclusiones obtenidos se presentan en el primer documento denominado *Memoria*. Además este documento incluye el DVD con toda la información de carácter territorial obtenida e incorporada en un sistema de información geográfica (SIG) que a petición de la CGRCAYC ha sido gvSIG. Los otros dos documentos corresponden a anejos. El *Anejo I: Datos* incluye los contenidos y especificaciones del proyecto SIG generado, así como datos relativos a la muestra de parcelas utilizada y a la identificación de cultivos, superficie y fiabilidad de los mapas de cultivos generados. El *Anejo II: Figuras* contienen diferentes láminas DIN A3 con la distribución espacial de los cultivos y ocupaciones en la zona regable del la Comunidad General del Canal de Aragón y Cataluña en 2013 y la evolución del desarrollo vegetativo en dicha zona durante el verano de 2013.

Durante el desarrollo del trabajo se entregaron dos informes en los que se daba cuenta del estado de los trabajos e información generada hasta el momento. Al igual que la presente memoria, dichos informes iban acompañados del correspondiente proyecto SIG y de bases de datos adicionales. Toda la información suministrada con anterioridad a la entrega de la presente memoria se considera provisional, siendo en la memoria actual donde se recoge la información concluyente del trabajo.

2- ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde exclusivamente a la zona regable de la CGRCAYC, zona situada a caballo de las provincias de Huesca y Lleida (Figura 1).

Con 132 Comunidades de Regantes, cuenta con una superficie de riego de proyecto de 104850 ha, de las cuales aproximadamente la mitad se riegan por aspersión (cobertura fija y pivotes) y la otra mitad se riegan por gravedad y por goteo (27 y 23% respectivamente) (http://www.cayc.es/index.php/es/).

El Canal de Aragón y Cataluña riega la zona de estudio, canal que se abastece con agua proveniente del embalse de Joaquín Costa, conocido también como embalse de Barasona, y el de Santa Ana ambos en la provincia de Huesca. La CGRCAyC está dividida en cinco fielatos o zonas de riego: *Fielato de la Almunia* (5974 ha), *Fielato de Tamarite* (16566 ha); *Fielato de Zaidín* (37480 ha), *Fielato de Raimat* (26211 ha) y *Fielato de Fraga* (17350 ha).

En cuanto a cultivos se refiere predominan los frutales, tanto de hueso como de pepita, y los cultivos extensivos entre los que destacan los cereales de invierno (trigo y cebada principalmente), cereales de verano (maíz principalmente) y forrajeras (alfalfa principalmente). Estos cultivos suponen aproximadamente el 90% de la superficie de la zona regable.

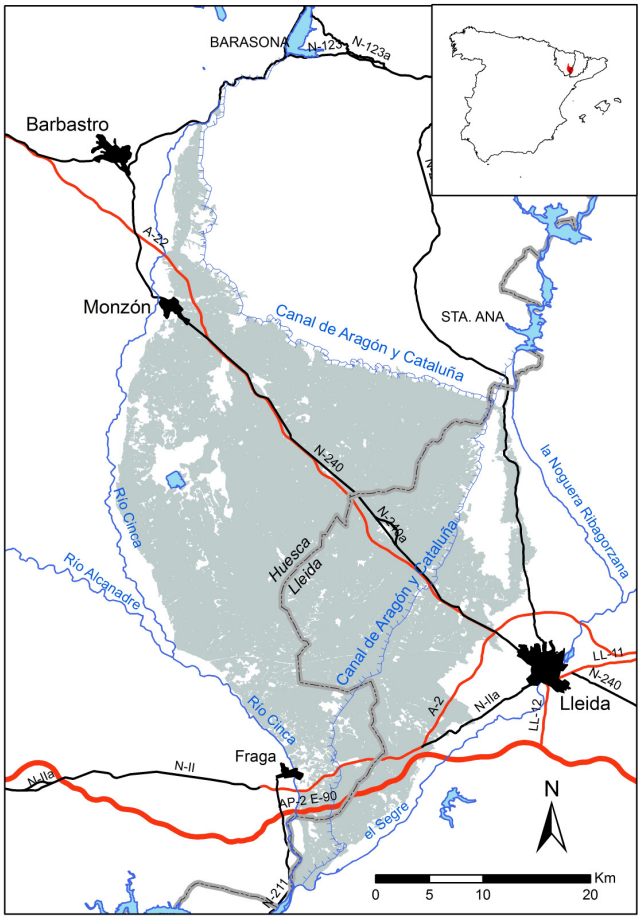

Figura 1.- *Localización del área de estudio.*

3- METODOLOGÍA SEGUIDA

3.1 Definición de las especificaciones cartográficas del trabajo

Previo al inicio del trabajo, y de mutuo acuerdo entre el CITA y la CGRCAYC, se establecieron unas especificaciones en relación al área de estudio y unidades de trabajo, representación cartográfica y almacenamiento de la información, e imágenes a utilizar.

El área de estudio corresponderá exclusivamente a la zona regable de la CGRCAYC. A petición de la CGRCAYC se adopta como delimitación territorial de la zona de estudio la superficie constatada, por trabajos de campo previos, como riego de hecho (103582 ha); y como unidades de trabajo los fielatos en los que se divide la CGRCAYC y las comunidades de regantes.

Toda la información de carácter territorial generada en el trabajo se incorporará en un sistema de información geográfica que será gvSIG. Como sistema geodésico de referencia se tomará el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89) y el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator Universal Mercator (UTM), Huso 31.

Para la monitorización de los cultivos se utilizarán las imágenes del satélite Landsat 8 correspondientes a las escenas 198/31 y 199/31 que estén disponibles durante el periodo de estudio, verano de 2013. En caso de no disponer de suficientes imágenes se valorará la posibilidad de adquirir alguna imagen de otro satélite.

3.2 Recopilación y puesta a punto de información básica territorial y de cultivos

Información territorial

Una vez fijadas las especificaciones cartográficas se determinó la información básica territorial necesaria para el desarrollo del trabajo. Concretamente se necesitaba contar al menos con la delimitación digital de la zona regable (área de estudio), fielatos y comunidades de regantes ya que se había acordado presentar la información para estas unidades de trabajo.

La CGRCAYC disponía de dos coberturas (shape file) que puso a disposición del trabajo. Una corresponde a una delimitación digital de la CGRCAYC inicialmente elaborada, mientras que la otra, de creación posterior, corresponde a la delimitación constatada como riego de hecho.

Con dichas coberturas se tuvo la información territorial básica (provincia, municipio, polígono, parcela etc.), del regadío (fielato, comunidad de regante, zona regable, etc.) y del riego (sistema de riego, acequia, toma del canal, etc.) útil para los propósitos perseguidos. Sin embargo, ambas coberturas no se presentaban con las especificaciones cartográficas establecidas en este trabajo, por lo que se procedió a reproyectarlas a ETRS89, coordenadas UTM, Huso 31N. Se decidió que fuera la cobertura correspondiente a la delimitación constatada como riego de hecho, una vez reproyectada, la que se incluyera en el SIG que se iba a implementar.

A partir de las coberturas mencionadas se generaron dos nuevas coberturas de delimitación más grosera, una correspondiente a los 5 fielatos de la CGRCAYC y otra a las comunidades de regantes (131 según la cobertura suministrada) que se utilizarán en la representación gráfica de la información.

Dado que la información territorial que se genere en el estudio se va a incorporar en un SIG, se procedió al diseño y creación de un proyecto SIG con el programa gvSIG.

Información cultivos

Para obtener con las imágenes de satélite la cartografía de cultivos y realizar el seguimiento de los mismos se necesita una muestra representativa de los cultivos que sirva de verdad-terreno.

Con el apoyo de las coberturas suministradas por la CGRCAYC y de la interpretación visual de composiciones color de la imagen de Landsat 8 de junio de 2013 se seleccionaron las posibles parcelas de verdad-terreno, habiéndose definido previamente el procedimiento y criterios a seguir. Las parcelas se eligieron aleatoriamente y se distribuyeron por todo el área de estudio apoyándose para logarlo en el patrón de las comunidades de regantes (estratificación del territorio). Se priorizó que las parcelas se localizasen lo más cerca posible al punto central de la comunidad (centro espacial del polígono de cada comunidad). Además, las parcelas elegidas debían tener un tamaño considerable, cuanto mayor mejor, es decir ser lo suficientemente grandes para que contengan varios píxeles de la imagen (resolución espacial de 30 $\times$ 30m). Por ello siempre que fue posible se buscaron parcelas mayores de 2 ha.

En la elección de las parcelas otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que en la muestra de parcelas elegidas deben estar representados los diferentes cultivos y ocupaciones, así como tipos de riego. Para lograrlo se usó la información sobre riego incluida en las coberturas suministradas y la interpretación visual de la composición color de la imagen, intentando que en

las parcelas elegidas estuviera representado el mayor número posibles de tonalidades y texturas diferentes.

Con las parcelas seleccionadas se creó una nueva cobertura shape que posteriormente revisó la CGRCAYC, quién con su conocimiento del medio la completó y validó. La CGRCAYC es quién preparó, con las parcelas de muestreo definitivas, la documentación necesaria para recabar en campo información sobre tipo de cultivo, estado y otras características relevantes para el estudio, y quién se encargó de recopilar en los primeros 10 días de julio de 2013 dicha información. En el Anejo I.2 se detalla la información incluida en el dossier entregado a cada encuestador.

Finalmente, con la información recopilada sobre los cultivos se generó la cobertura definitiva de parcelas de verdad terreno que se incorporó en el SIG con la correspondiente base de datos asociada a ella en la que se incluye la información recabada. Como las coberturas utilizadas para la elección de las parcelas de verdad terreno contienen un parcelario que no corresponde exactamente con parcelas uso, en ocasiones se seleccionaron parcelas en las que había diferentes cultivos. Ello exigió, antes de incorporar toda la información en el SIG, delinear de nuevo dichas parcelas para asegurarse que cada parcela (polígono) corresponde a un mismo uso o cultivo conforme a las especificaciones realizadas por los encuestadores (Figura 2).

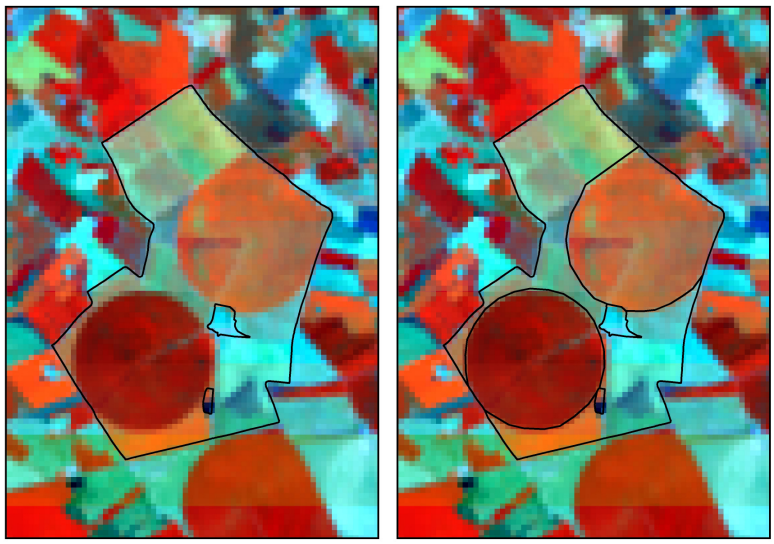

Figura 2.- *Ejemplo de parcelario original (derecha) y parcelario modificado según verdad terreno (izquierda) sobre imagen Landsat de julio de 2013.*

3.3 Determinación de la estrategia a seguir

A la vista de la información territorial y de cultivos conseguida, así como de las posibles imágenes de satélite a disponer durante la campaña de verano se estudió la estrategia a seguir para la identificación de los cultivos en la zona regable y el seguimiento de su desarrollo vegetativo. Se decidió que la información de las imágenes de satélite a utilizar fueran índices de vegetación, concretamente el NDVI (Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada), obtenidos para cada píxel de 30m $\times$ 30m (resolución espacial de las imágenes Landsat 8). Se eligió este índice por ser el más utilizado en aplicaciones agronómicas de teledetección, además de por su sencillo cálculo y fácil interpretación.

Para la obtención del mapa de cultivos y ocupaciones se decidió aplicar técnicas de clasificación de imágenes y árboles de decisión. Se optó por clasificación por píxel en lugar de por objetos pues la información de partida disponible (parcelario), tal y como estaba, no era a priori todo lo adecuada que se requeriría para obtener una resultado aceptable cundo se hiciera por objetos. Para analizar la distribución espacial de los cultivos y del desarrollo vegetativo en la zona de estudio, se decidió utilizar los *Fielatos* y las *Comunidades de regantes* como unidades de trabajo. Finalmente, la evolución del desarrollo vegetativo de cada cultivo se estudió a partir de la evolución de NDVI en parcelas piloto (parcelas de verdad-terreno).

En cuanto a la manera de presentar los resultados se decidió hacerlo cuantitativamente mediante tablas y gráficos, y espacialmente a través de mapas y figuras.

3.4 Selección, preparación y extracción de información de las imágenes de satélite

Selección y adquisición

El área de estudio se encuentra en la zona de solape de las escenas 198/31 y 199/31 del satélite Landsat 8. Se accedió al calendario de pasadas de Landsat 8 para dichas escenas y conocidas las fechas de paso del satélite se estuvo pendiente de la disponibilidad. Una vez la imagen estaba disponible en el servidor de imágenes del USGS (Servicio Geológico de EE.UU), se visualizó y verificó su estado para comprobar si era o no útil para los propósitos perseguidos en el estudio y se descargó.

Finalmente, de todas las imágenes disponibles se seleccionaron 6 imágenes correspondientes a la escena 198/031 y 4 a la escena 199/031 (Ver apartado 4.1).

Preparación

El USGS proporciona las imágenes corregidas geométricamente con proyección WGS84 (Sistema Geodésico Mundial 1984). Comprobada que la corrección era aceptable en el área de estudio, se reproyectaron al sistema ETRS89, coordenadas UTM zona 31N.

Una vez reproyectadas se procedió a su corrección radiométrica. En primer lugar se eliminó el efecto atmosférico (corrección atmosférica) para posteriormente proceder a la conversión de los niveles digitales de la imagen a valores de reflectividad (obtención de reflectividad aparente). Para la corrección atmosférica se optó por el método del objeto oscuro y para la conversión de los niveles digitales de Landsat 8 a reflectividades se siguieron las indicaciones que proporciona el USGS (http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).

Extracción de información

Corregidas las imágenes, el siguiente paso fue la obtención del NDVI a partir de las reflectividades de la banda del rojo (Banda 4) y del infrarrojo cercano (Banda 5) de la siguiente forma.

$$NDVI = \frac{Banda\,5 - Banda\,4}{Banda\,5 + Banda\,4}$$

Puesto que se había obtenido el NDVI de toda la imagen se procedió a aplicar una máscara del área de estudio con la que se sacó el NDVI para la zona regable. Dicha máscara se obtuvo de la cobertura shape de la zona regable suministrada por la CGRCAYC. El NDVI constituyó la información esencial para la identificación y seguimiento de los cultivo.

3.5 Identificación y seguimiento de los cultivos

Identificación de cultivos

Para la identificación de cultivos se ensayaron inicialmente diferentes métodos de clasificación (supervisado, no supervisado y mixto) usando los NDVI. A la vista de los resultados obtenidos se decidió seguir el procedimiento que se indica a continuación.

En primer lugar se determinó hasta que punto la imagen NDVI era útil o no para su uso en la clasificación según el siguiente criterio: utilizar en la clasificación los NDVI de las imágenes buenas que no presentan nubes o si las tiene que éstas sean poco relevantes y aisladas; si los NDVI provienen de imágenes con nubes o de imágenes que tienen píxeles sin información, se

utilizarán siempre y cuando dichas nubes o píxeles sin información estén concentrados en zonas concretas que permitan su eliminación.

Una vez separadas estas zonas de cada imagen NDVI, se procedió a realizar una clasificación supervisada en aquella superficie del área de estudio en las que se tenía NDVI útil en todas las fechas con las que se iba a clasificar. En el resto del área de estudio se realizaron clasificaciones no supervisadas o supervisadas dependiendo del número de capas NDVI con que se contaba (Tabla 1).

Tabla 1.- *Particularidades de la identificación de cultivos y otras ocupaciones realizada*

Identificación Cultivos Zonas	**NDVI utilizados**								**Clasificación realizada**	**Documento que incluye la información generada**
	25 May	1 Jun	26 Jun	12 Jul	19 Jul	28 Jul	20 Ago	14 Sep		
1ª Entrega	X	X			X				No supervisada + Clas.árbol	Informe Junio-Julio
	X	X	X	X					Supervisada + Clas.árbol	
2ª Entrega	X	X			X	X	X		Supervisada + Clas.árbol	Informe Agosto
	X	X	X	X		X	X		Supervisada + Clas.árbol	
Final	X	X			X	X	X	X	Depuración resultado 2ª Entrega con Clasificador Árbol usando NDVI 14Sep.	Memoria
	X	X	X	X		X	X	X	Depuración resultado 2ª Entrega con Clasificador Árbol usando NDVI 14Sep.	
	X	X	X	X		X	X		Idem 2ª Entrega	

Como verdad terreno en la clasificación se usaron las parcelas encuestadas erosionadas hacia el interior con el objeto de intentar minimizar el efecto de los píxeles de borde o mixtos de las mismas. En algunos casos, como la viña con una única parcela de verdad terreno o para la discriminación de las masas de agua, se completó la verdad terreno con nuevas parcelas. La clasificación así obtenida se depuró y mejoró mediante arboles de decisión. Este clasificador se fundamenta en aplicar diferentes reglas de decisión, que en el caso de estudio se basaron principalmente en el conocimiento del ciclo de cultivo en la zona, el tipo de riego y en el apoyo de otros índices derivados de las imágenes como el NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada).

Finalmente, se interpretaron las clasificaciones realizadas y se elaboró el mapa de cultivos y ocupaciones. Como puede apreciarse en la Tabla 1, se realizaron diferentes clasificaciones que dieron lugar a una cartografía de cultivos mensual, cartografía que se fue afinando conforme se disponía de imágenes nuevas, hasta contar con los mapas finales que son los que presentan mayor detalle y fiabilidad. La fiabilidad de la cartografía obtenida se evaluó mediante matrices de confusión usando las parcelas de verdad terreno.

De la cartografía digital obtenida se extrajeron las superficies ocupadas por cada categoría (cultivo u ocupación) en la zona regable, fielato y comunidad de regantes, información que sirvió para analizar la distribución espacial de los cultivos y conocer la evolución de la superficie ocupada por cada uno de ellos en las mencionadas demarcaciones.

Evolución del desarrollo vegetativo

Para conocer la evolución del desarrollo vegetativo de cultivos durante el verano de 2013 en la zona regable de la CGRCAYC se adoptaron dos escalas de trabajo: una global donde en la zona regable se sigue la dinámica global del desarrollo vegetativo; y otra puntual en la que se sigue el desarrollo del cultivo en diferente parcelas. En ambos casos la información de partida fueron las imágenes NDVI de todas las fechas disponibles.

En la zona regable del CGRCAYC

Los NDVI se reclasificaron en 11 categorías, una con NDVI≤0 y resto cada 0,1 unidad de NDVI). Se determinó la superficie que en cada fielato y cada comunidad de regantes presentaba cada una de las categorías de NDVI establecidas. Además, para cada fielato y comunidad se extrajo la superficie ocupada por superficie de agua profunda y sombras (NDVI ≤0), la de nubes y

suelos desnudo (NDVI de 0 a 0,2), la que presentaba vegetación poco densa (NDVI de 0,2 a 0,5) y la que tenía vegetación densa (NDVI > 0.5). Esta información se asoció a la cobertura de los Fielatos y a la de las Comunidades para con ayuda del SIG realizar análisis espaciales de la evolución del desarrollo del cultivo y plasmar dicha evolución gráficamente.

Según cultivos

Para esta parte del estudio se utilizaron las parcelas de verdad terreno encuestadas. Dado que la unidad de trabajo era la parcela, había que asegurarse de que la muestra de píxeles de cada parcela que se tomaba fuera representativa del cultivo implantado. Por ello se eliminaron los píxeles de borde (erosionado de las parcelas) y se trabajó con los valores de NDVI del resto de los píxeles de la parcela. Se obtuvo el NDVI medio de cada parcela. En este caso, la información se asoció a la cobertura de parcelas de verdad terreno para poder realizar con ayuda del SIG análisis espaciales de la evolución del desarrollo del cultivo en las parcelas y plasmarlo gráficamente.

3.6 Información generada

Se enumera a continuación la información básica generada a partir de la cual se han obtenido los resultados presentados en este trabajo. Esta información se suministra en el DVD adjunto a este documento.

- **Verdad – Terreno de cultivos**
  - Parcelas de verdad-terreno (*Parcelas_VT.shp)*
  - Parcelas de verdad-terreno para el seguimiento de la evolución del desarrollo vegetativo (*Parcelas_VT_NDVImedio.shp)*

- **Índices de Vegetación de la Diferencia Normalizada** (para las fechas de las 10 imágenes seleccionadas NDV*I_20130525.img, NDVI_20130601.img,..... NDVI_20130914.img)*
  - NDVI por Fielatos y Comunidades de regantes (*Fielato_añomesdía.shp, Comunidades_ añomesdía_shp* y *NDVI_RE_2013.xls)*
  - NDVImedio de las parcelas de verdad terreno (Parcelas_VT_NDVImedio.shp)

- **Cartografía de cultivos y ocupaciones** (*Cultivos_verano_2013.tif y Cultivos_2013.tif*)
  - Superficie de Cultivos en cada Fielato y Comunidad de Regantes (*Fielatos_VeranoSuperficies.shp, Fielatos_VeranoSuperficies.shp y Fielatos_Cultivos 2013Superficies.shp* y *Comunidades_Cultivos2013Superficies.shp*)

- **Proyecto gvSIG**
  - *CAyC_verano2013.gvp*

4- RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Disponibilidad de información

Información territorial

La información territorial disponible ha sido útil para los propósitos del estudio. Ha proporcionado la delimitación digital de las unidades de trabajo adoptadas: zona regable, fielatos y comunidades.

En cuanto al parcelario disponible, ya se ha comentado con anterioridad que no corresponde exactamente con parcelas uso y la repercusión que ello ha tenido en la obtención de la verdad terreno para la extracción de información de las imágenes (Figura 2). Además, el parcelario disponible ha determinado el modo de obtención y presentación de los mapas de cultivos y ocupaciones, en los cuales la asignación del cultivo es por píxel, no permitiendo una asignación de cultivos por parcela. Pese a ello, el disponer de información por píxel permite conocer la variabilidad que hay en cada parcela. En caso de plantearse en el futuro un estudio por parcela sería necesario realizar, en la medida de lo posible, un ajuste del parcelario a los usos del momento.

Información de cultivos

Algunas parcelas seleccionadas inicialmente como muestra para verdad terreno no han sido encuestadas por diferentes motivos. En total se ha recopilado información de 341 parcelas que suponen 4887 ha y representa el 4,7% de la superficie de la zona regable de la CGRCAYC. El erosionado de las parcelas (eliminación de píxeles de borde) requerido en algunos procesos realizados, supone una perdida de superficies de verdad-terreno que no es muy relevante. Concretamente desaparecen 75 parcelas quedando una superficie de 4771 ha que representa el 4,6% de la superficie de la zona regable. Otros detalles sobre la muestra se incluyen en el Anejo I.2.

Se han detectado algunas deficiencias en cuanto a la representatividad de la muestra que deberán tenerse en cuenta en futuras actuaciones. Aproximadamente el 80% de la superficie muestreada corresponde a parcelas de cultivos extensivos y el 15% a cultivos leñosos. En los cultivos extensivos se ha obtenido más muestra que la inicialmente prevista. Al no estar siempre la parcela (recinto) ajustada a los patrones de uso y riego del momento, ha sido imposible en ocasiones indicar exactamente la zona concreta que el encuestador debía muestrear, por lo que el

encuestador ha identificado todo lo existente en la parcela codificada. La proporción de superficies muestreada de cultivos extensivos en la zona regable es superior a la proporción de la superficie con cultivos extensivos que se ha identificada en este trabajo (aproximadamente 70% de la zona regable). La muestra ha sido más que suficiente para la discriminación de los cultivos extensivos y puede reducirse en el futuro si se desea. Una alternativa a considerar es no reducir mucho la superficie muestreada en estos cultivos y poder así utilizar la mitad de la muestra para extraer información de las imágenes y la otra mitad para realizar la evaluación de los productos obtenidos.

Para los leñosos en cambio, la muestra no ha sido todo lo representativa que se esperaba, quedando algunas especies relevantes y fenologías poco representadas y teniendo parcelas con mezcla de especies imposibles de identificar separadamente. En el futuro sería conveniente rediseñar el muestreo y aumentar la superficie muestreada, ya que frente a la superficie de leñosos identificada en el trabajo (aproximadamente un 25% de la superficie de la zona regable) la muestreada fue sensiblemente inferior.

Imágenes

El número y fechas de las imágenes disponibles han resultado suficientes para conseguir los propósitos del trabajo. La CGRCAYC cae en la zona de solape de dos pasadas de Landsat 8, lo que permite disponer de imágenes de dos escenas, la 198/31 y la 199/31. Así, durante el periodo de estudio, junio-septiembre de 2013, es posible contar con 16 imágenes Landsat 8.

Sin embargo, de las 16 imágenes posibles, 1 no estaba disponible en el momento del estudio y 6 no eran útiles por nubosidad y/o neblina abundante (Tabla 2). Por tanto, se ha contado con 9 imágenes de trabajo que se completaron con una de finales de mayo, haciendo un total de 10 imágenes. Se decide incluir dicha imagen pues presenta buenas condiciones y permitirá apoyar el trabajo al proporcionar información relevante en parcelas con cultivo extensivo de primavera, ya que las condiciones meteorológicas del año de estudio han propiciado un retraso notable en su ciclo vegetativo.

Además hay que tener en cuenta que en ocasiones la escena 198/31 no coge completamente el área de estudio (Ver Anejo II.1) afectando a la zona noroeste. Pese a ello, y dado que la superficie sin información representa una parte muy pequeña del área de estudio, se han incluido dichas imágenes en el estudio siempre y cuando no presenten algún otro problema relevante.

Un aspecto destacable que ha condicionado el desarrollo del trabajo es que de todas las imágenes disponibles, únicamente 4 no presentan problemas de nubosidad y de estás, 2 son imágenes que no abarcan toda al área de estudio (Tabla 2). Por ello, aunque de las 10 imágenes elegidas se ha extraído el NDVI, no se han considerado todas las imágenes y NDVI al obtenerse y presentarse los resultados gráficamente. Pese a ello, la información de todos los NDVI en el área de estudio sí se suministra en las bases de datos generadas y el SIG, si bien se deberá tener en cuenta cuando se utilice, la superficie afectada por las nubes y sus sombras, las zonas con neblina y la superficie del área de estudio sin datos (Ver Anejo II.1).

Tabla 2.- *Imágenes Landsat 8 durante el periodo de estudio*

Escena 198/31	Escena 199/31	Observaciones
25 mayo 2013		Alguna nube dispersa al sur del área de estudio
	1 junio 2013	
10 junio 2013		Nubosidad dispersa por el área de estudio
	17 junio 2013	Completamente nuboso. *Imagen descartada*
26 junio 2013		No coge todo el área de estudio
	3 julio 2013	Neblina por gran parte del área de estudio *Imagen descartada*
12 julio 2013		No coge todo el área de estudio
	19 julio 2013	Nubosidad dispersa por el área de estudio
28 julio 2013		Nubosa la parte noroeste del área de estudio. No coge toda el área de estudio.
	4 agosto 2013	Nubosidad dispersa por el área de estudio
13 agosto 2013		Nuboso, excepto en una pequeña parte al sur del área de estudio. *Imagen descartada*
	20 agosto 2013	
29 agosto 2013		Nuboso y con neblina. *Imagen descartada*.
	5 septiembre 2013	Nubosidad abundante por toda el área de estudio. *Imagen descartada*
14 septiembre 2013		Nubosidad y neblina en la parte noreste
	21 septiembre 2013	*No disponible*
30 septiembre 2013		Completamente nuboso. *Imagen descartada.*

4.2 Identificación de los cultivos

Como ya se ha indicado, la identificación de cultivos se realizó a partir de información obtenida de las imágenes y se fue mejorando conforme se disponía de nuevas imágenes. Finalmente se proporcionan dos mapas, uno correspondiente a los cultivos y ocupaciones de verano de 2013 y otro con los de todo el año (Anejo II.2 y Proyecto SIG incluido en el DVD adjunto). En cuanto a las identificaciones realizadas con anterioridad a la obtención del mapa definitivo suministradas a la CGRCAYC en los informes previos a esta memoria, si bien tienen menor fiabilidad, sirven para hacerse una idea previa de los cultivos presentes, su superficie y su distribución en la zona regable.

En verano de 2013 la superficie de la zona regable se reparte principalmente en cuatro grupos de cultivos y ocupaciones: *Cultivos de verano* con el 30% de la superficie, *Leñosos* con el 24%, *Forrajeras* (*Alfalfa)* con el 24% y *Sin cultivo* con el 20%. El 2% restante lo ocupan *Otros cultivos* y las *Masas de agua* (Figura 3). Las fiabilidades en con las que se han discriminado los diferentes cultivos y ocupaciones se pueden consulta en el Anejo I.3.

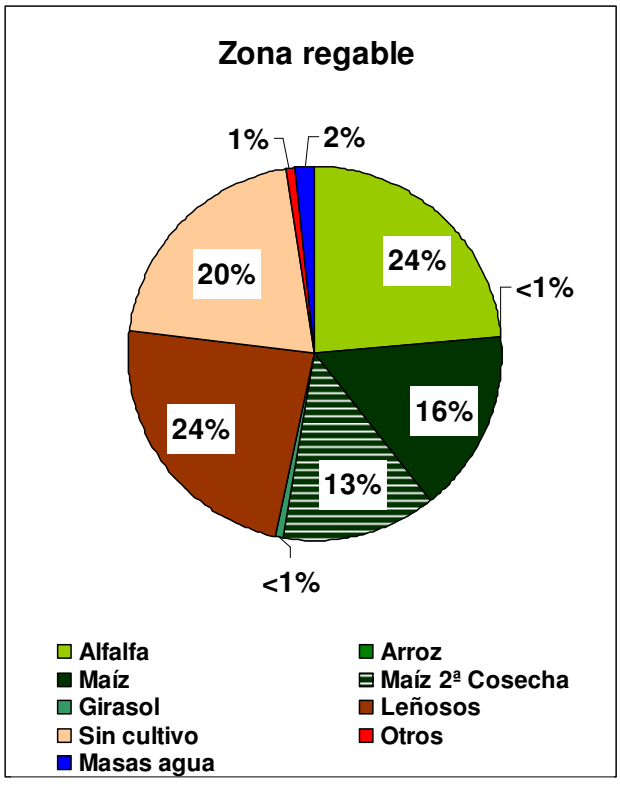

Figura 3.- *Porcentaje de la superficie de la CGRCAYC ocupada en verano de 2013 por los diferentes cultivos y ocupaciones*

Prácticamente toda la superficie de *Cultivos de verano* corresponde a *Maíz,* donde un poco menos de la mitad (13% de la superficie regable) es segunda cosecha. Dentro de los *Cultivos de verano* se ha incluido así mismo la escasa superficie de girasol identificada (<1% de la superficie de la zona regable) cuya discriminación ha estado limitada por el hecho de disponer de una única parcela de verdad terreno. Si bien presenta buena fiabilidad este dato se ha obtenido con la única parcela de verdad-terreno disponible, lo que devalúa la fiabilidad obtenida. El *Arroz* es otro cultivo de verano y pese a su escasa representación en el área de estudio (<1%) se ha incluido individualmente dado que se discrimina con muy alta fiabilidad.

En la categoría *Leñosos* se incluyen los frutales y otros leñosos como la viña y el olivo. La discriminación individualizada no ha sido posible con fiabilidades aceptables, ni tampoco una discriminación de diferentes especies de frutales, o de las especies de hueso frente a las de pepita. Las principales causas de ello son: la representatividad de la verdad terreno, la resolución espacial de las imágenes (30m x 30m) y las fechas utilizadas.

La gran variedad de casuísticas que se dan en las parcelas de frutales (diferentes especies, marcos de plantación, sistemas, edades, manejo, etc.) y que repercuten en la respuesta espectral de los mismos, no están suficientemente representadas en la muestra disponible. De las 122 parcelas de leñosos elegidas como verdad terreno, 114 parcelas corresponden a frutales teniendo muy poca muestra de olivo y viña para obtener una buena discriminación. Además, el 90% de la superficie muestreada de frutales corresponde a especies de hueso, siendo algo más de la mitad melocotonero, y el 10% restante a especies de pepita, lo que ha supuesto una limitación para la discriminación de estos dos grupos.

En cuanto a la resolución espacial de las imágenes, es insuficiente dado el tamaño de las parcelas de frutales y la mezcla de especies que a veces se da en una misma parcela (16 de las 114 parcelas elegidas como muestra presentan más de una especie, normalmente todas de hueso). Probablemente con imágenes de mayor resolución espacial se consiga discriminar diferentes categorías dentro de los frutales. Por otro lado, utilizar imágenes de otras fechas fuera de las de verano permitiría mejorara la discriminación de los otros leñosos, como por ejemplo el olivo que es perenne y presenta buen desarrollo y vigor vegetativo en invierno.

En verano el cultivo forrajero presente es la *Alfalfa* con una importante representación en la zona regable. La disponibilidad de gran número de imágenes ha permitido, pese a la diversidad de estados vegetativos que suele darse en las parcelas de alfalfa para una misma fecha, estados condicionados por las fechas de corte, discriminar este cultivo con muy buena fiabilidad.

En la categoría *Sin Cultivo* quedan incluidas las parcelas que no tienen ningún cultivo durante el verano. Dichas parcelas pueden estar en barbecho, improductivo, con monteriza, labradas o presentar rastrojo de algún cultivo de invierno. La fiabilidad con que se separa esta clase es buena, si bien, se detectan ciertas confusiones con parcelas de leñosos jóvenes donde la respuesta espectral se debe en gran medida al suelo, ya que todavía presentan cobertura vegetal incipiente; y con algunas parcelas de doble cosecha más retrasadas. La utilización de imágenes de fechas fuera del verano posiblemente afinaría más la discriminación la clase *Sin cultivo*.

En cuanto a las *Masas de agua*, corresponden a las balsas existentes en la zona regable. Aunque están incluidas en la cobertura con información territorial suministrada por la CGRCAYC, un análisis visual de las imágenes mostró algunas unidades no identificadas en dicha cobertura. Dado que habitualmente la identificación de cuerpos de agua en zonas agrícolas suele ser fácil y fiable, se decidió identificar las masas de agua a partir de las imágenes y poder así completar y actualizar la información suministrada. La información de las imágenes permite así mismo si se desea, conocer la evolución de su estado hídrico durante el periodo de estudio.

Finalmente indicar que la categoría *Otras clases,* es un cajón de sastre en el que se incluye el resto de la superficie de la zona regable. Concretamente incluye aquella superficie que no se ha clasificado en ninguna de las categorías identificadas y que por tanto, corresponde a otros cultivos u ocupaciones. Tampoco se tiene una verdad terreno adecuada para una correcta evaluación de la fiabilidad con la que se clasifica esta clase, lo que debe tenerse en cuenta en la interpretación de los datos suministrados al respecto.

La información sobre la superficie de cada cultivo y ocupación en toda el área de estudio, en cada fielato y en comunidad de regantes puede consultarse en las bases de datos y en el proyecto SIG incluidos en el DVD.

Pese a que en el compromiso en el trabajo era identificar las superficies de cultivo en verano de 2013, y dado que la información disponible lo permite, se ha elaborado también el mapa anual *Cultivos y otras ocupaciones en la zona regale de la CGRCAYC Año 2013*, pues aporta información complementaria que se considera de interés para la CGRCAYC, como superficies ocupadas por los cultivos extensivos de invierno, dobles cosechas, y la superficie no cultivada en todo el año (Figura 4). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que en dicho mapa la discriminación de los cultivos y ocupaciones presentes con anterioridad a junio se ha realizado sin imágenes de dicha época, repercutiendo este hecho en la fiabilidad obtenida (Ver Matrices de confusión del Anejo I.3).

Es muy probable por ejemplo que *Sin cultivo* esté algo sobreestimado al incluirse en esta categoría aquellas parcelas de cereal de invierno más adelantadas fenológicamente que a finales de mayo (fecha de la primera imagen usada en la discriminación) ya estén maduras o a punto de cosecharse, parcelas que a su vez no se han incluido en los *Extensivos invierno*. Así mismo, habrá también *Dobles cosechas* que no se hayan identificado como tales. Se constata por tanto la conveniencia de realizar una identificación de cultivos a lo largo de toda la campaña agrícola. La incorporación de imágenes de fuera del periodo estival permitirá afinar mejor la identificación de algunos cultivos y ocupaciones como por ejemplo *Extensivos de invierno*, *Dobles cosechas*, *Leñosos* y *Sin cultivo*, y probablemente en algunas casos permita discriminar nuevas categoría dentro de las ya identificadas, como por ejemplo el tipo de dobles cosechas.

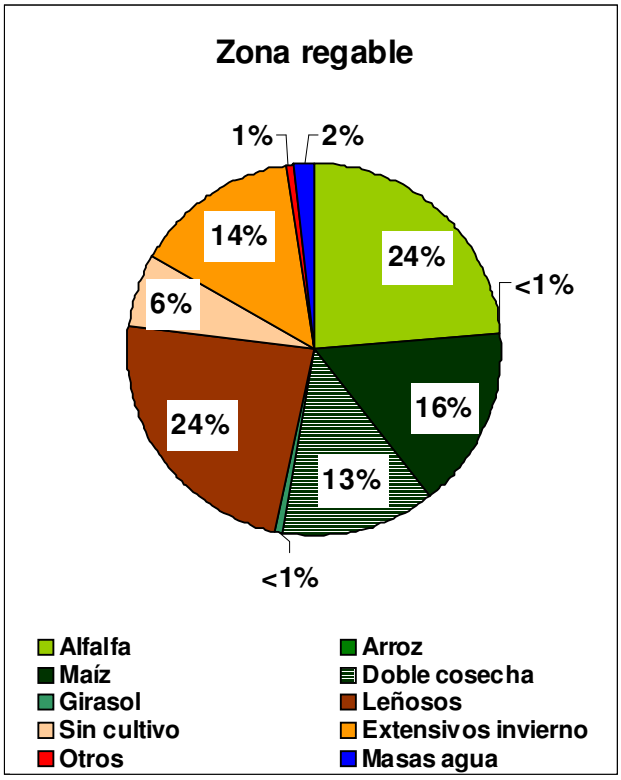

Figura 4.- *Porcentaje de la superficie de la CGRCAYC ocupada en 2013 por los diferentes cultivos y ocupaciones*

La información relativa a los cultivos y ocupaciones de todo el año 2013 para al zona regable, fielato y comunidades de regantes se puede consultar en las bases de datos y proyecto SIG incluidos en el DVD.

.

En la Figura 5 se muestra la distribución de cultivos y ocupaciones presentes en verano en la zona regable de cada fielato. Según dicha distribución se pueden establecer tres grupos. En un grupo está el fielato de la Almunia, donde la mayor parte del la superficie de la zona regable, un 42%, está ocupado por *Cultivos de verano* (Maíz, Maíz 2º cosecha y Girasol). De todos los fielatos, el de la Almunia destaca por ser el que tiene el mayor porcentaje de su superficie *Sin cultivo* en verano, un 36% y en donde los Leñosos ocupan un pequeñísimo porcentaje, menos del 1%, de la superficie de la zona regable del fielato. En otro grupo está el fielato Fraga donde predominan claramente los Leñosos (58%) siendo el fielato en el que la superficie *Sin cultivo* es la menor, un 10%. El último grupo esta compuesto por el resto de los fielatos donde predominan los *Cultivos de verano* y donde la superficie *Sin cultivo* está entre el 20 y 23%. El porcentaje de superficie ocupada por *Leñosos* varía en cada fielato y el de *Alfalfa,* cercano o algo superior el 25%, es mayor al que se da en los fielatos de Almunia y Fraga.

En la Figura 6 se muestra como se reparte la superficie total de cada cultivo y ocupación entre los diferentes fielatos. Zaidín es el fielato con más zona regable, 36% de la superficie de la zona regable de CGRCAYC, seguido de Raimat con 25%, Fraga y Tamarite con 16 y 15% respectivamente y siendo la Almunia el fielato con menor superficie regable, 6% de la superficie de la zona regable de la CGRCAYC. La mayoría de los cultivos y ocupaciones se presentan en todos los fielatos pero generalmente el mayor porcentaje de su superficie se da en el fielato de Zaidín, seguido del de Raimat y el menor porcentaje en Almunia. Sin embargo, hay algunos aspectos que vale la pena destacar. En los fielatos de Fraga, Zaidín y Raimat se encuentra el 95% de la superficie total de *Leñosos*, destacando el fielato de Fraga con un 42% de la superficie de leñosos. El *Arroz*, con escasa representación en el área regable se concentra en los fielatos de Fraga y Zaidín (80% y 20% de la superficie total de arroz respectivamente). Así mismo, la escasa superficie identificada como *Girasol* ha estado limitada, tal y como ya se ha comentado anteriormente, por la verdad terreno disponible. En el fielato de Zaidín se concentra un poco más de la mitad de la superficie identificada de girasol (56%).

Aunque no se presentan en la memoria los resultados para las comunidades de regantes, pueden extraerse y consultarse en las bases de datos y proyecto SIG incluidos en el DVD.

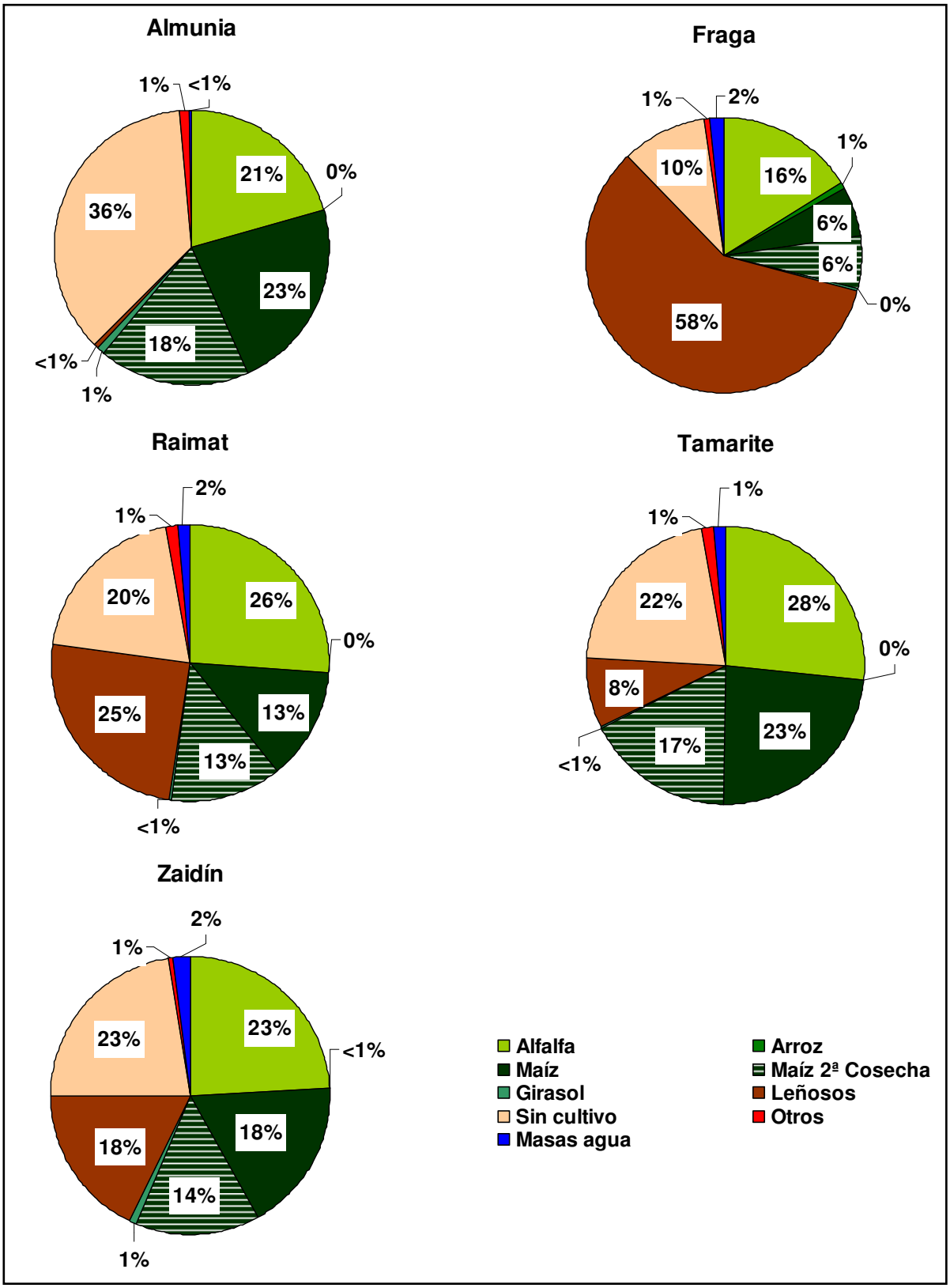

Figura 5.- *Porcentaje de la superficie de cada fielato ocupado en verano de 2013 por los diferentes cultivos y ocupaciones*

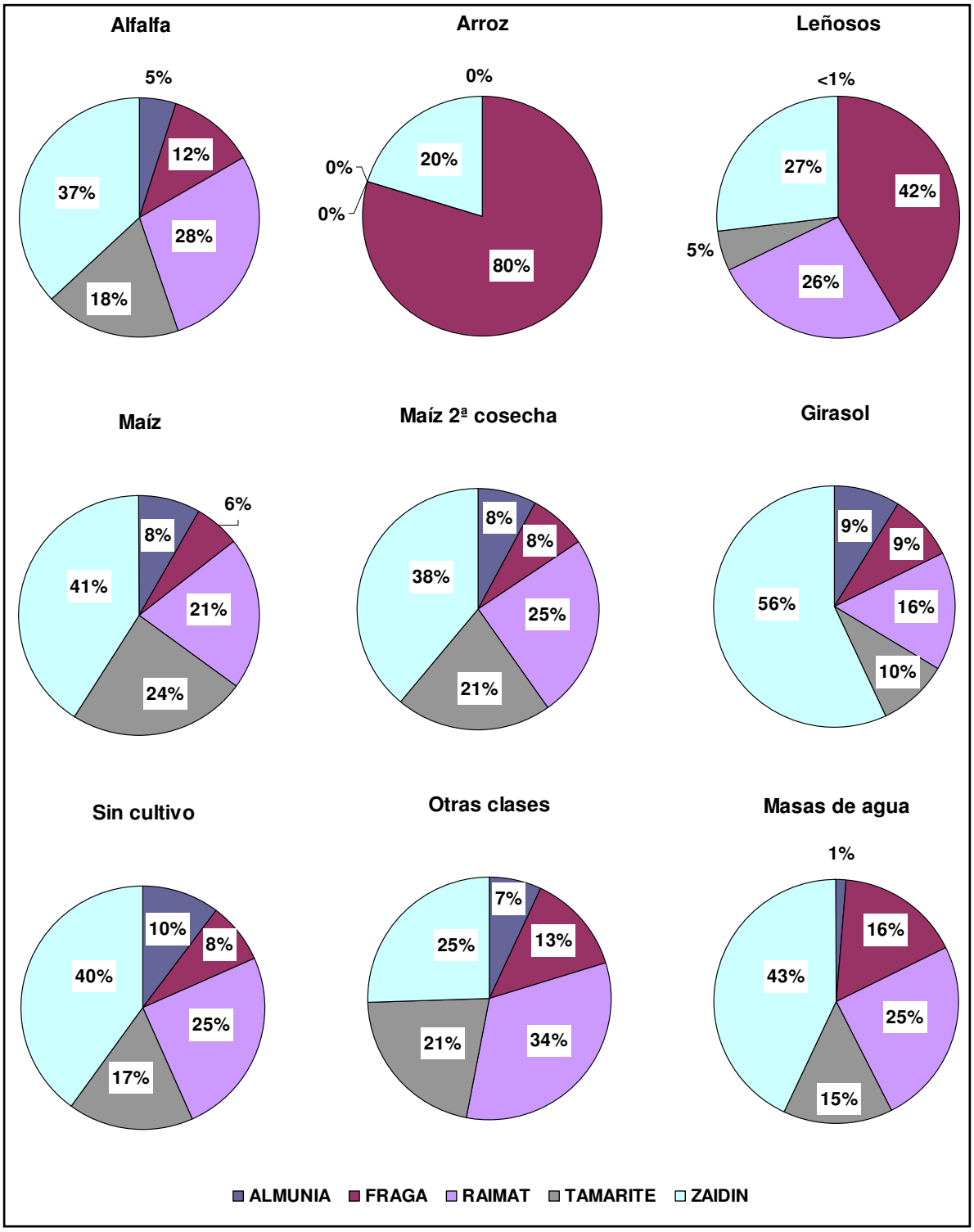

Figura 6.- *Reparto de la superficie total de cada cultivo y ocupación entre fielatos.*

4.3 Evolución del desarrollo vegetativo

En la zona regable del CGRCAYC

En el proyecto SIG contenido en el DVD adjunto se incluye la información necesaria para realizar consultas en relación a la evolución del desarrollo vegetativo de los cultivos a partir de la los NDVI, así como representaciones gráficas por fielatos y comunidades de regantes. Aunque se ha obtenido el NDVI del área de estudio para todas las imágenes seleccionadas (NDVI que se incluye en el SIG y bases de datos suministrados en el DVD adjunto) en el análisis de variación del NDVI por fielatos y comunidades de regantes únicamente se utilizan las fechas sin nubes o con pocas nubes, indicándose que no hay dato cuando un fielato o comunidad de regantes está seriamente afectado por nubes, neblina o faltan de datos. Concretamente las fechas utilizadas han sido siete: 25 de mayo, 1 y 26 de junio, 12 y 28 de julio, 20 de agosto y 14 de septiembre de 2013.

En el Anejo II.3 se muestran diferentes figuras ilustrativas de la evolución del desarrollo vegetativo por fielatos y comunidades. La actividad vegetativa en cada fielato y comunidad, y por tanto el desarrollo vegetativo, va ligado a los cultivos y ocupaciones presente en cada momento, su representación en cuanto a superficie y su ciclo fenológico.

En todos los fielatos de la CGRCAYC se observa en general un patrón bastante similar en cuanto a porcentaje de superficie con determinado desarrollo vegetativo según las cuatro categorías de NDVI establecidas (ver Anejo II.3). Los cambios observados obedecen a las transiciones entre cultivos de invierno y cultivos de verano al inicio del periodo de estudio (mayo-junio) y a las variaciones de actividad vegetativa en los cultivos de verano y permanentes durante el resto de los meses. Las particulares condiciones meteorológicas de 2013 han condicionado las cosechas de extensivos de invierno y algunas siembras de cultivos de verano que han venido retrasadas, lo que hace que los resultados presentados sean particulares para el año en curso.

La superficie con NDVI inferiores a cero tiene escasa relevancia y nunca superan el 1% de la superficie de la zona regable del fielato. Esta superficie corresponde principalmente a las balsas que están llenas con agua. La superficie con nulo o escaso desarrollo vegetativo (NDVI entre 0 y 0.2) en ningún caso supera el 13% de la superficie de la zona regable del fielato, apreciándose un paulatino descenso de la misma en el primer mes de estudio, del 25 de mayo a 26 de junio; manteniéndose bajo durante el mes de julio; y volviendo a incrementarse para mantenerse más o

menos constante hasta la última fecha estudiada, 14 de septiembre. Las superficies correspondientes a un desarrollo vegetativo medio (NDVI entre 0,2 y 0,5) y buen desarrollo vegetativo (NDVI mayor de 0,5) son las que predominan en los fielatos desde finales de mayo a mediados de septiembre, presentando en muchos casos valores próximos al 45-50%. En general, el porcentaje de superficie con buen desarrollo es superior al porcentaje de superficie con desarrollo vegetativo medio, variando la proporción de uno y otro a lo largo del periodo de estudio. A finales de mayo el porcentaje de superficie con buen desarrollo vegetativo suele ser mayor al de desarrollo vegetativo medio. Sin embargo, dicho porcentaje tiende a igualarse en julio, para volver a imponerse en agosto donde se dan las mayores diferencias entre ambos (aproximadamente 60% frente a 30%).

En cuanto al NDVI predominante en los fielatos en las fechas estudiadas, corresponde a valores >0,5, es decir a buen desarrollo vegetativo, excepto para el 1 de junio, 12 de junio y 28 de julio, donde en algunos fielatos predomina un desarrollo vegetativo medio (ver Anejo II.3). Concretamente Almunia y Zaidín, fielatos localizados al noroeste de la CGRCAYC presenta este estado en las tres fechas indicadas; Tamarite el 1 de junio y 26 de junio; y Raimat el 26 de junio y el 12 de julio. De todos modos señalar que el 12 julio, en los tres fielatos más la este de la CGRCAYC, Tamarite, Raimat y Fraga, la diferencia entre el porcentaje de superficie de la zona regable de cada fielato con desarrollo vegetativo medio y con buen desarrollo vegetativo es en términos absolutos únicamente del 1% (Ver figuras Anejo II.3)

Si se analiza qué porcentaje de la superficie de zona regable de cada fielato presenta en cada fecha cada uno de los estados de desarrollo vegetativo establecidos, se ve que en todos los fielatos y para todas las fechas el 25% de la superficie de la zona regable presenta escaso o nulo desarrollo vegetativo; entre el 25 y 50% de la superficie presenta en la mayoría de los casos desarrollo vegetativo medio, excepto Almunia para 1 de junio, 26 de junio y 12 de julio y Zaidín Tamarite y Raimat para 26 de junio que presentan entre el 50 y 75% de su superficie con este desarrollo; y habiendo buen desarrollo vegetativo en el 25-50% de la superficie o 50-75% de la misma según fechas y fielatos (Ver figuras Anejo II.3). En cuanto a la superficie con buen estado desarrollo vegetativo señalar que Almunia en todas las fechas analizadas presenta entre el 25 y 50% con este estado y que Fraga es el único fielato que en todas las fechas lo presenta en el 50-70% de su superficie.

La evolución del desarrollo vegetativo por fielatos y comunidades de regantes se puede analizar también a partir de la información de los NDVI en rangos de 0,1 disponibles en las bases de datos y proyecto SIG suministrados. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de la variación de la superficie con determinado NDVI, por tanto con determinado desarrollo vegetativo en los diferentes fielatos. Se aprecia la singularidad del fielato de Fraga respecto al resto consecuencia del claro predominio de los leñosos en este fielato. Las curvas muestran para todas las fechas un aumento progresivo, conforme el NDVI es mayor, de la superficie con dicho NDVI hasta NDVI de 0,6 o 0,7 según las fechas. A partir de entonces y conforme disminuye el NDVI, disminuye la superficie con dicho NDVI. En el resto de los fielatos esta tendencia se rompe para NDVI determinados en fechas determinadas, destacando un aumento acusado de la superficie del fielato para NDVI de 0,3-0,4 de finales de junio a mediados de julio y de 0,8-0,9 en agosto principalmente. De ellos, el fielato de la Almunia es el que difiere algo de los otros tres en las superficies que ocupan NDVI de 0,2 a 0,3 sobre todo a finales de junio.

Como ya se ha comentado al inicio de este apartado el desarrollo vegetativo en cada fielato va ligado a los cultivos y ocupaciones presente en cada momento, su representación en cuanto a superficie y su ciclo fenológico. Excepto en el fielato de Fraga y en menor medida en el de la Almunia, los tipos de cultivos y ocupaciones presentes en los fielatos y el porcentaje de la superficie de los mismos que ocupan, no difieren sustancialmente (Figura 5). Ello se refleja en los resultados obtenidos en cuanto a la evolución del desarrollo vegetativo por fielatos. La distribución de los cultivos en los fielatos (ver proyecto SIG adjunto en el DVD) lleva a plantear la posibilidad en el futuro de una estratificación territorial dentro de cada fielato, que permitiera un mejor aprovechamiento de la información generada en cuanto de evolución del desarrollo vegetativo por fielatos.

Si bien no se detalla en esta memoria los estados de desarrollo vegetativo por comunidad de regantes, sí puede verse gráficamente en el Anejo II.3 y consultar los datos para cualquier comunidad en las bases de datos y proyecto SIG incluidos en el DVD adjunto.

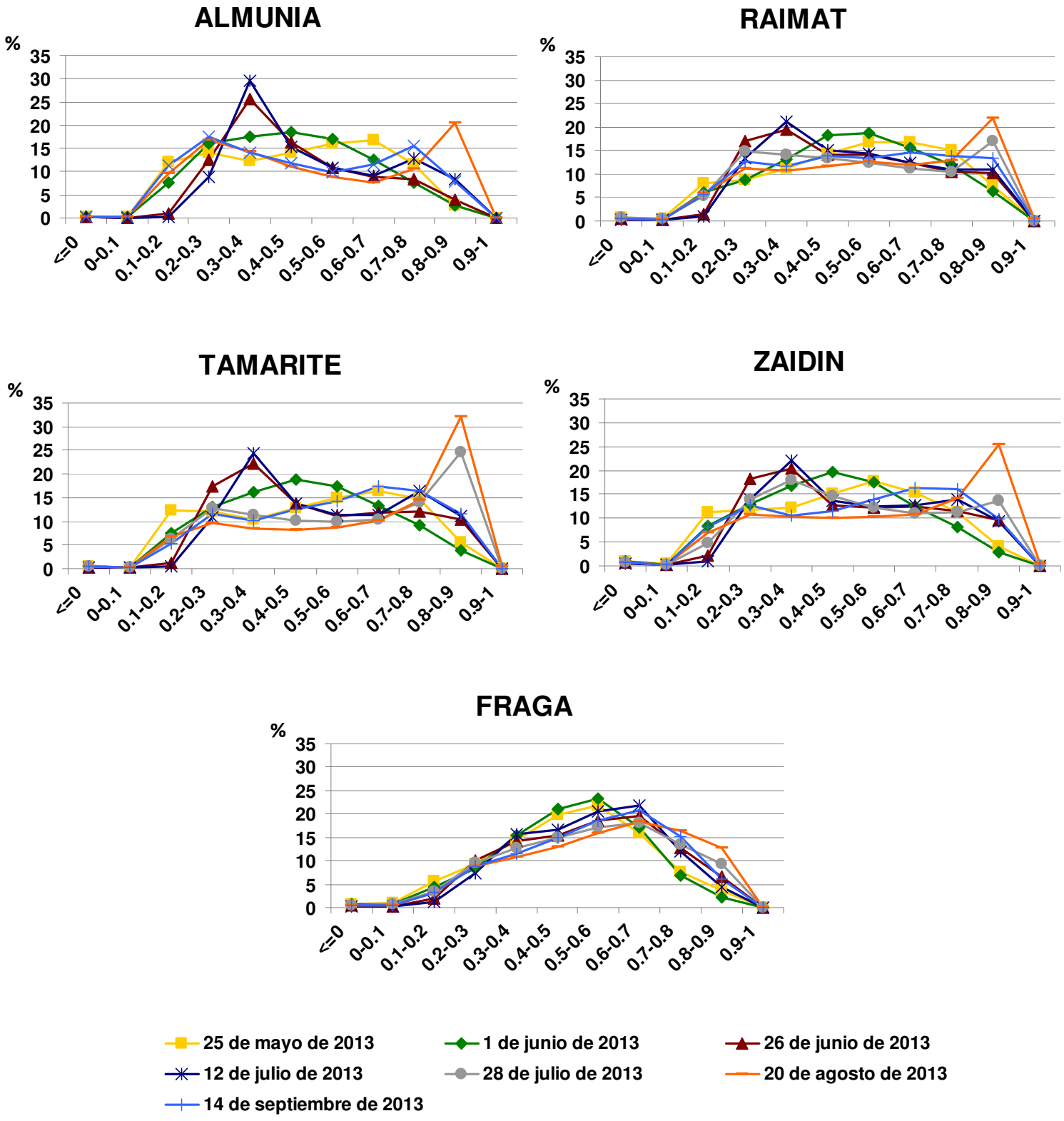

Figura 7 - *Comparativa para cada fielato de las superficies de la zona regable (%) con diferentes NDVI según fechas*

Según cultivos

La caracterización del desarrollo de diferentes cultivos a la largo de la campaña agrícola de verano se ha realizado a partir de la muestra de parcelas de verdad terreno erosionadas (Anejo I.2). El seguimiento del cultivo para cualquier otra parcela de la zona regable puede derivarse a partir de las capas de NDVI incluidas en el SIG.

En las Figura 7 se muestra un ejemplo de la evolución del desarrollo de los principales cultivos en diferentes parcelas de la CGRCAYC en verano de 2013. Para el Maíz se han elegido dos parcelas por fielato, una de las que presentan en cuanto a ciclo vegetativo, el cultivo más avanzado y otra de las más retrasadas. Mientas que en las parcelas más avanzadas a finales de junio ya se había alcanzado el máximo desarrollo (NDVImedio >0.80), en las más retrasadas no se produce hasta la segunda quincena de julio. Puede decirse que durante la última semana de junio primera de julio es cuando más se acusa la diferencia de desarrollo entre distintas parcelas en el área de estudio. Este hecho se hace también patente durante la primera quincena de septiembre, donde en las parcelas más avanzadas se constata un notable descenso del NDVI consecuencia de la senescencia y fin de ciclo del cultivo. La falta de información anterior al 25 de mayo impide saber si realmente las parcelas de maíz más retrasadas corresponden a parcelas con cosecha única de maíz o son parcelas de doble cosecha (ver comentarios de dobles cosechas a continuación).

En cuanto al maíz de doble cosecha, se han elegido como ejemplo parcelas con diferente cultivo de primera cosecha. Al ser la primera imagen del 25 de mayo de 2013 no se tiene información sobre la evolución del desarrollo vegetativo de la primera cosecha. Sin embargo, según qué cultivo ha precedido al maíz, las curvas se muestran diferentes. Puede observarse cómo la parcela con doble cosecha Raygrás-Maíz tiene muy bajo NDVImedio a finales mayo y principios de junio indicativo de que el Raygrás ya no está presente. A diferencia de las otras parcelas, el maíz ya presenta un buen desarrollo el 26 de junio y en la primera quincena de julio ya había alcanzado un NDVImedio superior a 0,8. El comportamiento de este maíz se asemeja bastante al de las parcelas de maíz de una sola cosecha más retrasadas y con las imágenes utilizadas difícilmente puede distinguirse de ellas.

Otra parcela de doble cosecha con un comportamiento diferente al resto es la de Guisante-Maíz. En este caso se aprecia como el 1 de junio el guisante todavía está presente en la parcela con buen desarrollo vegetativo (NDVImedio>0,8) y el 26 de junio ya se ha cosechado. A finales de

julio el maíz de segunda cosecha ya ha alcanzado un buen desarrollo. El resto de las parcelas de doble cosechas presentadas corresponden a Cebada-Maíz y Nabos-Maíz, y presentan valores de NDVImedio entre 0,5 y 0,7 a finales de mayo consecuencia del cultivo de primera cosecha. En estas parcelas se aprecia como el maíz, que es la segunda cosecha, alcanza su máximo desarrollo entre finales de julio y primera semana de agosto según los casos, siendo en la parcela de doble cosecha de nabos-maíz en la que el desarrollo del maíz se produce con más retraso (NDVI<0,5 a finales de julio)

Por supuesto, el uso de imágenes de fechas anteriores en las que los cultivos de primera cosecha estén desarrollándose o en pleno desarrollado permitirían mejorar la caracterización y discriminación de las dobles cosechas.

En cuanto a los Frutales, se aprecian unas curvas de evolución bastantes planas con valores de NDVImedios que suelen oscilar entre 0,5 y 0,8. Alguna parcela de frutales adultos bien desarrollado, probablemente con suelo enyerbado, presenta NDVImedios mayores. Los frutales jóvenes con menor actividad vegetativa y mayor influencia del suelo presentan también valores bastante estables de NDVImedios a lo largo del verano, si bien claramente inferiores no superando 0,4. La ya comentada dificultad de discriminación de especies queda evidente con las gráficas presentadas.

Por último, la Alfalfa presenta unas curvas de evolución del NDVImedio muy características con picos pronunciados, reflejo de los cambios vegetativos que se producen a consecuencia de los cortes. Así hay fechas donde el NDVImedio en las parcela es elevado y próximo a 0,9 y otras en las que ronda el 0,4. Se aprecia la diversidad de curvas de evolución según el manejo de cada parcela. Cuando no se dispone de un buen número de imágenes distribuidas a lo largo de la campaña es difícil caracterizar los cambios de desarrollo vegetativo en las parcelas de alfalfa y por tanto su correcta identificación. Como ejemplo se presenta una parcela (de la comunidad de regantes Bassanova) en la que las fechas utilizadas no captan dichos cortes y da como resultado una curva bastante similar a la de un frutal adulto con buen vigor y desarrollo vegetativo, con las consiguientes posibilidades de confusión entre ambos cultivos. En este caso el uso de imágenes de fechas anteriores ayudaría a mejorar la caracterización e identificación de la alfalfa.

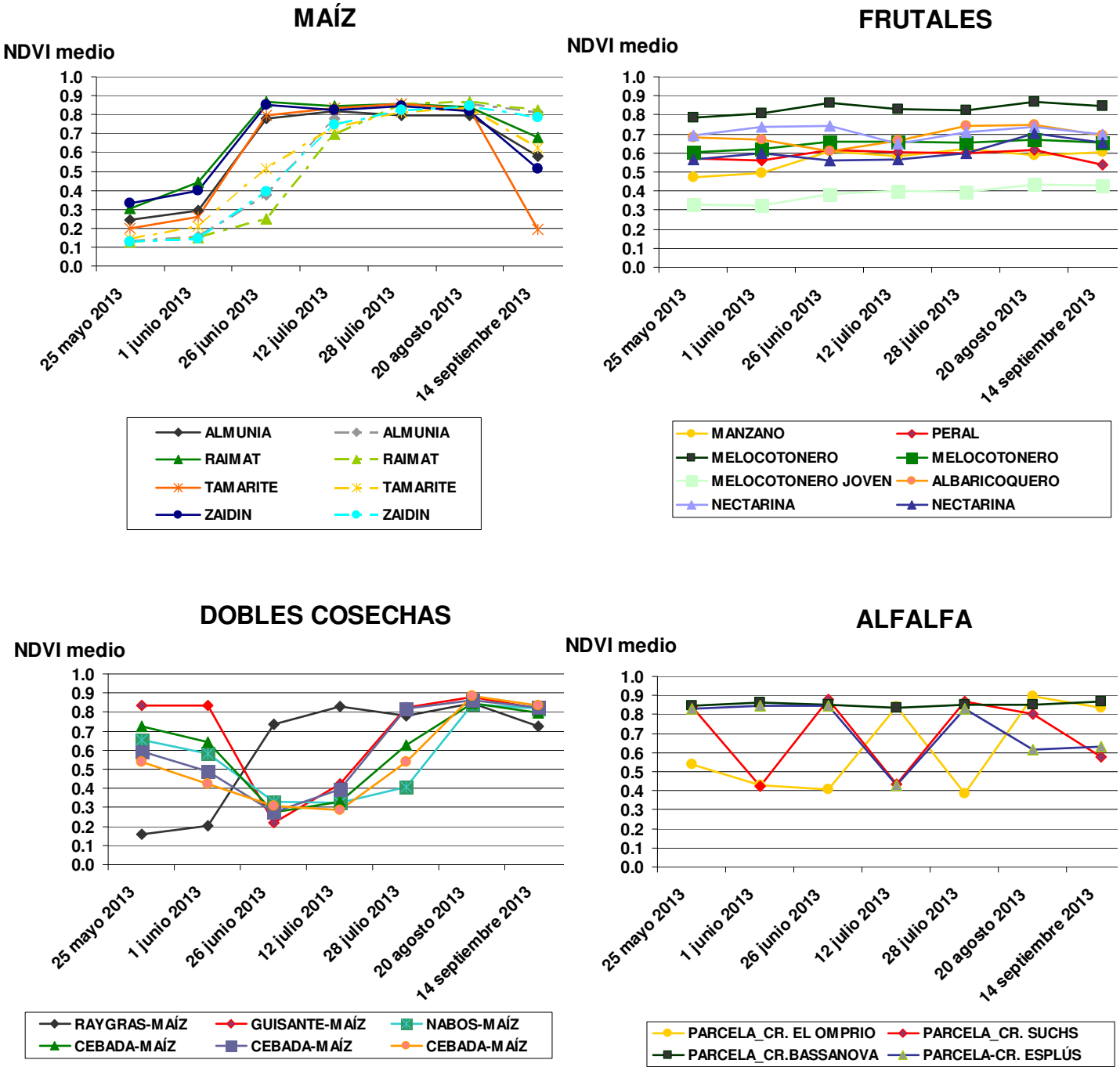

Figura 8.- *Ejemplo de evolución del desarrollo del cultivo en diferentes parcelas de la CGRCAYC*

Las curvas de evolución presentadas corresponden a verano de 2013. En otros años con diferente meteorología y por tanto fenología del cultivo, las curvas variarán, si bien seguirán los patrones inherentes de cada cultivo. Las curvas presentadas dan así mismo una idea de la capacidad de discriminación entre cultivos según fechas, número de imágenes a utilizar, etc.

En las bases de datos y en el proyecto SIG suministrado (ver DVD) se incluye la información necesaria para conocer la evolución en el resto de las parcelas de verdad-terreno.

Como ya se ha comentado anteriormente esta parte del estudio se ha realizado con la muestra de parcelas de verdad-terreno una vez erosionadas. Los comentados aspectos en cuanto a la representatividad de esta muestra, realizados en el apartado 4.1, también deben considerarse ahora. Una buena caracterización de la evolución del desarrollo vegetativo de los cultivos en la CGRCAYC precisará contar con una buena muestra de parcelas representativa de los diferentes cultivos y casuísticas que se presentan en la comunidad, así como la ampliación del estudio a todo el ciclo vegetativo de los cultivos.

5- CONCLUSIONES

- La teledetección se ha mostrado como una herramienta de gran utilidad para la monitorización de la superficie cultivada en la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC). Con imágenes de satélite de alta resolución espacial (<=30m), concretamente Landsat 8, ha sido posible la identificación y seguimiento de los principales cultivos de la CGRCAYC. La utilización conjunta de teledetección y SIG ha resultado idónea para presentar y gestionar la información generada.

- En verano de 2013, el 30% de la superficie de la zona regable de la CGRCAYC estaba ocupada por *Cultivos de verano* (más del 29% maíz), el 24% por *Leñosos,* otro 24% por *Forrajeras* (*Alfalfa)* y el 20% estaba *Sin cultivo*. El 2% restante lo ocupaban *Otros cultivos* y las *Masas de agua*. Los *Extensivos de invierno* ocupaban en primavera el 14% de la superficie regable, representando en esta época la superficie *Sin cultivo* el 6%. Las *Dobles cosechas* suponen el 13% de la superficie. Las cifras indicadas probablemente estén algo sobreestimadas en *Sin cultivo* de primavera, y algo infraestimadas para *Extensivos de invierno* y *Dobles cosechas* al no haberse incluido en el estudio imágenes anteriores a finales de mayo.

- Se han identificado tres tipologías diferentes entre los fielatos. *Almunia* con la mayor parte de su zona regable, un 42%, ocupada por cultivos de verano *y un 36%* sin cultivo*; Fraga*, en donde predominan claramente los leñosos, 58% de su zona regada, y sólo presenta un 10% está sin cultivo; y el resto, *Raimat*, *Tamarite* y *Zaidín*, con predominio de los cultivos de verano y donde la superficie sin cultivo está entre el 20 y 23% y la alfalfa cercana o algo superior el 25%.

- La superficie y ciclo fenológico de los cultivos presentes en un determinado momento repercute en la cantidad de vegetación activa y por tanto condicionan la evolución del desarrollo vegetativo en cada fielato y comunidad de regante. Los cinco fielatos presentan en general, en verano de 2013, un patrón bastante similar en cuanto a porcentaje de superficie con un determinado desarrollo vegetativo atendiendo a la categorización según el índice de vegetación de la diferencia normalizada realizada (NDVI<=0; de 0 a 0,2, de 0,2 a 0,5 y >0,5). En la mayoría de los fielatos y fechas estudiadas predomina la superficie con alto desarrollo vegetativo (NDVI>0,5).

- Las curvas de evolución del NDVImedio en las parcelas se muestran como una herramienta idónea para la caracterización fenológica de los cultivos en la campaña agrícola en curso y para establecer las diferencias de ciclo de cultivo entre demarcaciones (fielatos, comunidades de regantes, etc.) y entre campañas.

- Los procedimientos seguidos y las imágenes utilizadas han resultado adecuados para los propósitos perseguidos. La información sobre cultivos en la zona regable, junto con la información relativa a la evolución de la vegetación activa y desarrollo vegetativo, tal y como se han presentado en el trabajo, puede fácilmente combinarse con información relativa al agua, ayudando en la toma de decisiones en cuanto al manejo y gestión del agua en la CGRCAYC.

- La discriminación de cultivos y su grado de desarrollo se pueden optimizar en el futuro mejorando la representatividad de los mismos en la muestra de parcelas verdad terreno, ampliando el periodo de adquisición de imágenes a otras fechas, y utilizando imágenes de mayor resolución espacial para intentar discriminar con más especificidad cultivos tan relevantes como los leñosos, aspectos que deberán considerarse en futuros trabajos de identificación y seguimiento de los cultivos en la CGRCAYC.