



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

Caracterización de la dinámica de las dobles cosechas en el Canal de Aragón y Cataluña mediante series temporales de NDVI

English tittle:

Characterization of the dynamics of double harvests in the Aragón and Cataluña Canal by NDVI time series

Autor/es

Jorge Oliván Bescós

Director/es

María Auxiliadora Casterad Seral  
Alfredo Serreta Oliván

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Año 2018



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Auxi Casterad por haber compartido sus conocimientos conmigo y haberme ayudado siempre que le he necesitado, también a Rosa y a toda la gente del CITA.

A todo el personal, profesores y compañeros de la escuela que me han aportado mucho durante esta etapa y me han hecho pasar muy buenos momentos.

A mi familia por apoyarme en todo momento y que sin ellos esto no hubiera sido posible.



## RESUMEN

Las dobles cosechas, importantes consumidoras de agua, cada año tienen más presencia en el Canal de Aragón y Cataluña. En este trabajo se estudia, con ayuda de la teledetección y sistemas de información geográfica, la variabilidad espacio-temporal de su fenología, y como afecta en la determinación de las necesidades hídricas. Con las declaraciones PAC e información suministrada por la Comunidad General de Regantes, se escogen cebada-maíz, cebada-girasol, trigo blando-maíz, raygras-maíz y guisante-maíz como las dobles cosechas más representativas. Además, mediante series temporales del índice de vegetación NDVI se consigue para el periodo 2013-2017 información actualizada sobre el desarrollo del cultivo, momento y duración de las diferentes etapas fenológicas en las dobles cosechas. No se observan diferencias fenológicas por la localización espacial de las dobles cosechas. Sin embargo, si existen ciertas diferencias entre años, debidas principalmente a las variaciones de la temperatura. Las series temporales de NDVI descubren algunas diferencias fenológicas en una misma doble cosecha y la posibilidad de considerar más de una fenología tipo para afinar el cálculo de las necesidades hídricas.

**Palabras clave:** Doble cosecha, teledetección, SIG, NDVI, fenología.

## ABSTRACT

Double crop, which consume an important amount of water, are increasing their presence in the Aragón and Cataluña Channel. In this study, the spaced-time variability of its phenology and how it changes water requirements have been investigated by help of remote sensing and geographic information systems. Aspects information extracted from 'PAC' and general community of irrigators concludes that barley-corn, barley-sunflower, bread wheat-corn, ryegrass-corn and pea-corn are the most representative double crop moreover. Applying time series of the vegetation index NDVI is possible for 2013 to 2017 get actual information about crop development, moment and time of the different stages at the double crop. Differences in the crop phenology by their spatial location cannot be found. On the other hand, there are many differences from one year to another; most of them are due to temperature variations. Time series of NDVI show some differences in the crop phenology in the same double crop and the possibility of including more than one type of phenology to be more efficient at hydric necessities calculation.

**Keywords:** Double crop, remote sensing, SIG, NDVI, crop phenology.



# ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del trabajo.....	1
1.2. Tecnologías de la información geográfica.....	1
1.2.1. Teledetección.....	3
1.2.2. Sistemas de Información Geográfica.....	3
1.2.3. Aplicaciones .....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Desarrollo del trabajo.....	5
2. Descripción de la zona de estudio.....	6
2.1. Localización y medio físico.....	6
2.1.1. Descripción del clima.....	7
2.2. El regadío.....	9
3. Material y métodos.....	11
3.1. Identificación de las principales dobles cosechas.....	11
3.2. Caracterización del ciclo fenológico de las dobles cosechas.....	11
3.2.1. Elección de parcelas de estudio.....	11
3.2.2. Obtención de series temporales de evolución de NDVI.....	13
3.2.3. Definición de fenologías tipo.....	15
3.3. Determinación de la variabilidad espacio temporal de la fenología de las dobles cosechas.....	16
3.3.1. Variabilidad entre zonas geográficas .....	16
3.3.2. Variabilidad entre campañas agrícolas.....	17
4. Resultados y discusión.....	18
4.1. Tipos y representación de las dobles cosechas en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña.....	18
4.2. Dinámica de las dobles cosechas.....	20
4.2.1. Parcelas de estudio.....	20
4.2.2. Caracterización fenológica.....	23
4.2.3. Variación espacio temporal de la fenología.....	35
4.3. Relación entre fenología de las dobles cosechas, condiciones meteorológicas .....	36
4.2.1. Condiciones meteorológicas .....	36
4.2.2. Efecto de las condiciones meteorológicas en la fenología de las dobles cosechas.....	41
5-Conclusiones.....	43
6-Bibliografía.....	45





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección	2
Figura 2. Componentes y estructura de un sistema SIG (Fernandez y col, 2011)	3
Figura 3. Captura del programa Qgis	4
Figura 4. Localización de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña. (Casterad y col., 2016)	6
Figura 5. Distribución de la superficie (%) de cultivos y ocupaciones de 2013, 2014 y 2016 en la Zona de la CGRCAYC (Casterad y col., 2016)	7
Figura 6. Diagrama ombrotérmico de San Esteban de Litera en el año 2016	8
Figura 7. Evolución del sistema de riego de la zona de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña ( <a href="http://www.cayc.es/index.php/entidad/zona-regable">http://www.cayc.es/index.php/entidad/zona-regable</a> )	10
Figura 8. Distribución de recintos PAC seleccionados en la zona de estudio en el año 2016	12
Figura 9. Ejemplo de captura de información del NDVI con herramienta SPIDER-SIAR	13
Figura 10. Evolución del NDVI en parcelas declaradas como doble cosecha guisante-maíz	14
Figura 11. Valores de NDVI obtenidos para la doble cosecha cebada-maíz en el año 2016	15
Figura 12. Ejemplo de diferentes tipos de evolución del NDVI en doble cosecha de cebada-girasol	16
Figura 13. Curvas tipo de evolución de NDVI de la doble cosecha cebada-maíz	17
Figura 14. Principales dobles cosechas en la zona regable de la CGRCAYC en 2016 y 2017	19
Figura 15. Distribución en al CGRCAYC de los recintos elegidos cada año de estudio	21
Figura 16. Distribución de la superficie (%) de cultivos y ocupaciones de 2013, 2014 y 2016 en el fielato de Fraga y Almunia (Casterad y col., 2016)	22
Figura 17. Ejemplo de serie temporal de NDVI obtenidas con Sentinel 2 y Landsat 8	24
Figura 18. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha cebada-maíz en los años de estudio	25
Figura 19. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha cebada-girasol en los años de estudio	26
Figura 20. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha trigo-maíz en los años de estudio	28
Figura 21. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha raygras-maiz en los años de estudio	30
Figura 22. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha guisante-maíz en los años de estudio	31

Figura 23. Esquema de las etapas fenológicas de Martínez-Cob (2005), línea gris, superpuestas a las curvas de evolución de NDVI, líneas de color	33
Figura 24. Evolución temporal de series temporales de NDVI en el cultivo de raygras con su valor promedio	35
Figura 25. Evolución NDVI en parcelas de doble cosecha cebada-girasol en diferentes localizaciones de la zona de estudio	36
Figura 26. Localización estaciones meteorológicas	37
Figura 27. Comparación de la evolución mensual de la temperatura (°C) media en la estación de Zaidín en los años 2013 a 2017	38
Figura 28. Muestra representativa de la velocidad media mensual del viento en diferentes estaciones de la CGRCAyC	39
Figura 29. Evapotranspiración mensual en la zona regable del CGRCAyC	40
Figura 30. Relación entre Precipitación /Evapotranspiración	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitudes de onda ( $\mu\text{m}$ ) de las bandas captadas por Sentinel 2 (S2) y Landsat 8 (L8) y su resolución espacial ( <a href="http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/">http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/</a> )	2
Tabla 2: Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación de Tamarite de Litera (IAEST, 2013).	8
Tabla 3. Superficie regable de cada fielato en el año 2014 (Quintilla, 2014)	9
Tabla 4- Número de recintos elegidos como posibles parcelas de estudio	13
Tabla 5. Dobles cultivos declarados en la PAC de 2017 y 2016 no considerados como dobles cosechas.	18
Tabla 6. Número de parcelas elegidas para el estudio fenológico	22
Tabla 7. Precipitación anual en mm en la zona regable del CGRCAyC	39
Tabla 8. Evapotranspiración de referencia anual en mm en la zona regable del CGRCAyC	40



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Motivación del trabajo

El desarrollo demográfico y la progresiva escasez de casi todos los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, ha generado la necesidad de un mejor aprovechamiento de los recursos con los que cuenta el ser humano y puede contar en un futuro. Por todo esto, es necesaria un mejor conocimiento de los recursos para permitir una mejor planificación y gestión de las actividades humanas y minimización de los impactos producidos por estas.

El agua es uno de los recursos naturales más preciados. La agricultura es el principal consumidor de agua en nuestro país. En España alrededor del 70% del agua se utiliza para riego. En la zona de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC), situada al sureste de la provincia de Huesca y la parte que limita con esta de la provincia de Lleida, la variabilidad temporal de la disponibilidad de agua es alta y determina la producción de cultivos, por lo que el riego tiene una especial importancia. Además, la poca regulación interna del sistema del Canal de Aragón y Cataluña hace necesario aplicar en ocasiones restricciones en el consumo de agua durante la campaña de riego.

Por eso se necesitan estrategias que permitan una optimización de la gestión de este recurso. Para ello es importante conocer la disponibilidad y la demanda de agua. En este último caso, es imprescindible tener información sobre los cultivos, su evolución y la superficie que ocupan, y conocer sus necesidades hídricas.

En estudios territoriales tener información espacial localizada es imprescindible por eso las tecnologías de información geográfica como son los sistemas de información geográfica y la teledetección son hoy en día una herramienta esencial. Estas tecnologías permiten adquirir y manejar información de forma rápida sobre los cultivos (Labrador y col., 2012).

Las dobles cosechas son cada vez más abundantes en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña y junto con los frutales y leñosos, importantes consumidoras de agua. Conocer su fenología y desarrollo es clave para determinar sus necesidades hídricas. Sin embargo, hay poca información en este respecto. Normalmente, se recurre a encuestas a los agricultores o seguimiento en campo de parcelas, pero actualmente las imágenes de satélite también pueden utilizarse con este fin.

## 1.2. Tecnologías de información geográfica

### 1.2.1. Teledetección

El término teledetección es una traducción latina del término inglés *remote sensing* engloba los procesos de obtención de una imagen, así como su posterior tratamiento e interpretación (Chuvieco, 2010). La teledetección es un término que se utiliza para designar los medios que permiten obtener información a distancia y en tiempo real sobre las cosas, sin necesidad de estar en contacto con ellas (Alonso, 1981). Su objetivo principal es visualizar los elementos de la superficie terrestre a través de su firma espectral. En la Figura 1 se muestran los componentes que intervienen en un sistema de teledetección.

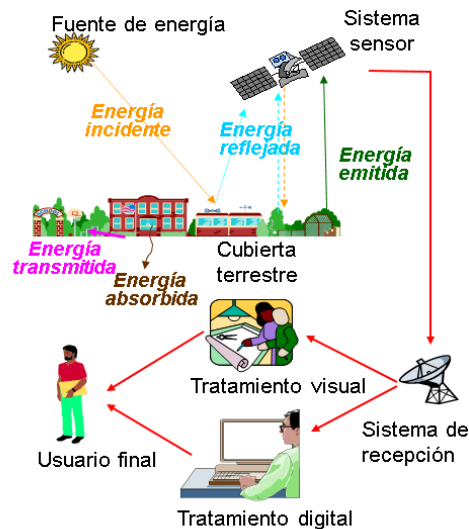


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección

Actualmente se pueden disponer de imágenes de satélite de forma libre a resolución espacial y temporal adecuada para la identificación y seguimiento de cultivos. Es el caso de los satélites Sentinel2 y Landsat8. Estos satélites siguen una órbita polar, es decir que giran siguiendo el eje de los polos (GIS geography, 2018). Las imágenes de estos satélites están disponibles de forma libre en <https://earthexplorer.usgs.gov/> las de Landsat y en <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> las de Sentinel.

Sentinel 2 está formado por dos satélites idénticos que son Sentinel 2A y Sentinel 2B que tienen un desfase de 180º entre ellos y dan una vuelta completa cada 10 días. Al llevar un desfase de 180º, si las condiciones son buenas podrán garantizar una imagen cada 5 días (Bonastre, 2017). El Landsat 8 permite obtener imágenes si las condiciones son buenas cada 16 días. En la Tabla 1 se muestran las bandas y resolución de cada uno de estos satélites.

Tabla 1. Longitudes de onda ( $\mu\text{m}$ ) de las bandas captadas por Sentinel 2 (S2) y Landsat 8 (L8) y su resolución espacial (<http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/>)

L8 Band	CW ( $\mu\text{m}$ )	Wavelength (lower-upper)	Bandwidth	Res. (m)	S2 Band	CW ( $\mu\text{m}$ )	Wavelength (min-max)	Bandwidth	Res. (m)			
1	C/A	0.443	0.435 - 0.451	0.016	30	C/A	1	C/A	0.443	0.421 - 0.457	0.036	60
2	Blue	0.482	0.452 - 0.512	0.060	30	Blue	2	Blue	0.494	0.439 - 0.535	0.096	10
3	Green	0.561	0.533 - 0.590	0.057	30	Green	3	Green	0.560	0.537 - 0.582	0.045	10
4	Red	0.655	0.636 - 0.673	0.037	30	Red	4	Red	0.665	0.646 - 0.685	0.039	10
							5	VRE	0.704	0.694 - 0.714	0.020	20
							6	VRE	0.740	0.731 - 0.749	0.018	20
							7	VRE	0.781	0.768 - 0.796	0.028	20
							8	NIR	0.834	0.767 - 0.908	0.141	10
5	NIR	0.865	0.851 - 0.879	0.028	30	NIR	8a	NIR	0.864	0.848 - 0.881	0.033	20
							9	WV	0.944	0.931 - 0.958	0.027	60
9	Cirrus	1.373	1.363 - 1.384	0.020	30	Cirrus	10	Cirrus	1.375	1.338 - 1.414	0.076	60
6	SWIR	1.609	1.567 - 1.651	0.085	30	SWIR	11	SWIR	1.612	1.539 - 1.681	0.142	20
7	SWIR	2.201	2.107 - 2.294	0.187	30	SWIR	12	SWIR	2.194	2.072 - 2.312	0.240	20
8	Pan	0.590	0.503 - 0.676	0.172	15							
10	TIRS	10.895	10.60 - 11.19	0.590	100 *							
11	TIRS	12.005	11.50 - 12.51	1.010	100 *							

CW = Longitud de onda central

\*Adquirido a 100m de resolución y remuestreado a 30m

De estos satélites se tiene información sobre la repuesta espectral de los cultivos y otra información como por ejemplo índices de vegetación que permiten estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación basándose en la radiación de determinadas bandas del espectro electromagnético que absorbe o emite el cultivo (Paruelo, 2008).

### 1.2.2. Sistema de información geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas que permite el tratamiento de grandes cantidades de datos provenientes del mundo real que tienen relación con una referencia espacial, facilitando la toma de decisiones de forma eficaz (Chuvienco, 2010). Los SIG permiten tratar bases de datos y capas de información territorial, además permiten analizar y modelar la información espacial, crear mapas e interpretarlos y presentar resultados de todas estas operaciones para usarlos en muchos ámbitos. En la Figura 2 se muestran los componentes de un SIG y su estructura funcional.



Figura 2. Componentes y estructura de un sistema SIG (Fernandez y col, 2011)

Hoy en día existen SIG libres y de código abierto como el Qgis (Figura 3). Este programa permite manejar información en formato ráster como vectorial. Además del Qgis existen otros programas SIG como el ArcGis, gvSIG, PostGIS...

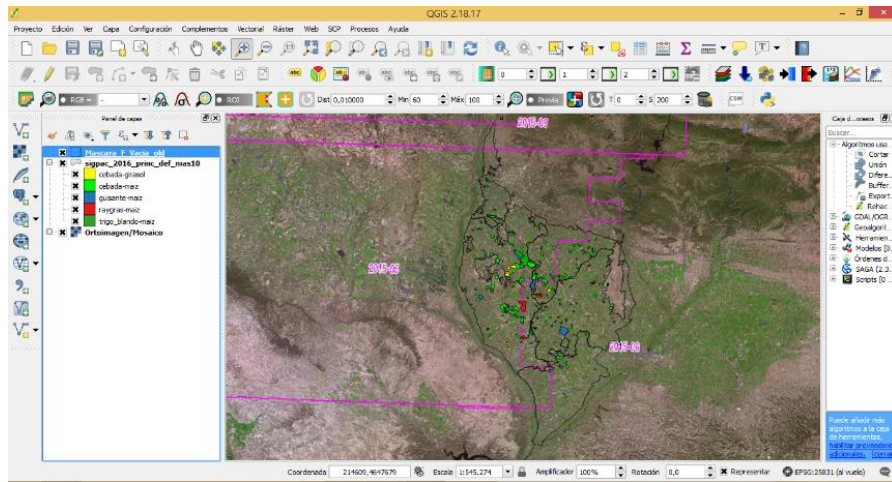


Figura 3. Captura del programa Qgis

### 1.2.3. Aplicaciones

El desarrollo de las tecnologías de información junto con la accesibilidad libre a imágenes y programas libres a propiciado el desarrollo de aplicaciones que combinan teledetección y SIG para la visualización y seguimiento de la superficie terrestre. Algunos ejemplos son:

- EarthExplorer permite la búsqueda en línea, visualización, exportación y descarga de datos de imágenes de la tierra proporcionadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Sentinel Hub es una plataforma SIG basada en la nube para la distribución, gestión y análisis de datos satelitales de Sentinel <https://www.sentinel-hub.com/>.
- Google Earth Engine, una plataforma tecnológica basada en la nube para el análisis de datos ambientales a escala planetaria que pone on-line imágenes satelitales, actuales e históricas <https://earthengine.google.com/>.

Concretamente para agricultura esta la herramienta SPIDERwebGIS (<http://www.spiderwebgis.org/>) que permite realizar el seguimiento del desarrollo y crecimiento de los cultivos para mejorar su manejo agronómico. Este seguimiento se realiza mediante una secuencia temporal de imágenes. Concretamente SPIDER-SIAR es de libre acceso y proporciona la siguiente información (Calera y col, 2014):

- Secuencias de imágenes de satélite (RGB) y de índices de vegetación (NDVI) y coeficientes de cultivo.
- Usos de suelo en el regadío
- Cartografía temática de variables agroclimáticas y del balance de agua en el suelo (evapotranspiración, necesidades de riego, etc.)
- Cartografía auxiliar: estaciones meteorológicas, delimitación de imágenes Landsat y Sentinel, SIGPAC, delimitación de cuencas hidrográficas, zonas regables, delimitación administrativa provincial y API de Google.



### **1.3. Objetivos**

El objetivo principal del proyecto es conocer, con ayuda de la teledetección y los sistemas de información geográfica, la variabilidad fenológica de los principales tipos de dobles cosechas en el Canal de Aragón y Cataluña, y analizar su repercusión en la determinación de las necesidades hídricas.

Los objetivos específicos que se persiguen son:

- 1- Identificar los tipos de dobles cosechas existentes.
- 2- Caracterizar a partir de imágenes de satélite el ciclo fenológico de las principales dobles cosechas.
- 3- Analizar la variabilidad espacio-temporal de su fenología y su repercusión en las necesidades hídricas.

Por otro lado, este trabajo pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del Grado de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural, así como, la obtención de nuevos conocimientos en el ámbito de la teledetección y sistemas de información geográfica.

### **1.4. Desarrollo del trabajo**

El presente trabajo forma parte de las actividades que la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón está desarrollando en el proyecto Grupo de Cooperación PDR Aragón, Modelo IC+AG (2016-2018).

El área de estudio es la zona regable de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAyC), y para el trabajo se consideran cinco años de estudio de 2013 a 2017. La caracterización fenológica se realizará para la campaña de riego, época de interés en la toma de decisiones sobre la gestión del agua.

La caracterización fenológica se realizará para la campaña de riego

El trabajo se divide en tres actividades principales que concuerdan con los tres objetivos específicos. Estas actividades se llevan a cabo en la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón utilizando herramientas de SIG, teledetección y bases de datos geoespaciales disponibles en dicho Centro.

Se espera que la información que se obtenga sirva para la toma de decisiones sobre gestión de agua en la CGRCAyC durante la campaña de riegos.

## 2. Descripción de la zona de estudio

### 2.1 Localización y medio físico

La Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC), está situada en la parte central de la cuenca del Ebro y en su margen izquierdo entre las provincias de Huesca y Lleida (Figura 4), abarcando actualmente una superficie de 107.470 ha. Por la superficie de riego que abarca, constituye la segunda zona regable de la cuenca del Ebro y consecuentemente una de las mayores del país.

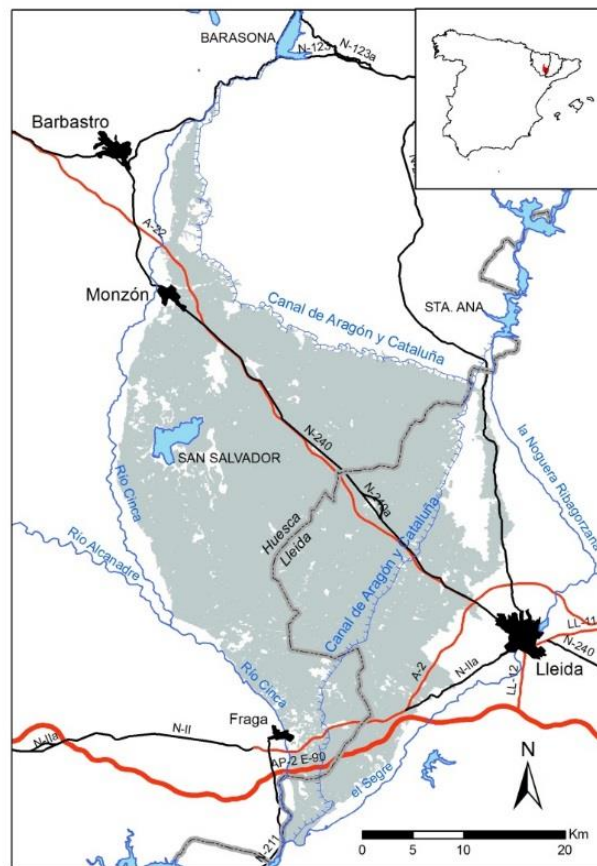


Figura 4. Localización de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña. (Casterad y col., 2016)

Se trata de una zona cuyo desnivel oscila entre los 70 y los 420 msnm en la que predominan conglomerados, areniscas y arcillas, si bien en la parte sur predominan facies carbonáticas. Los suelos predominantes son cambisoles calcáricos con pH básico, si bien también hay suelos salinos (Mateu, 2015).

Los principales cultivos son trigo, cebada, maíz, raygras, girasol, guisantes y alfalfa. En la zona sur los frutales tienen también importancia. La modernización de los riegos ha supuesto un incremento importante de las dobles cosechas (Figura 5) en gran parte de las superficies que anteriormente se realizaba una única cosecha. (Casterad y col., 2016).

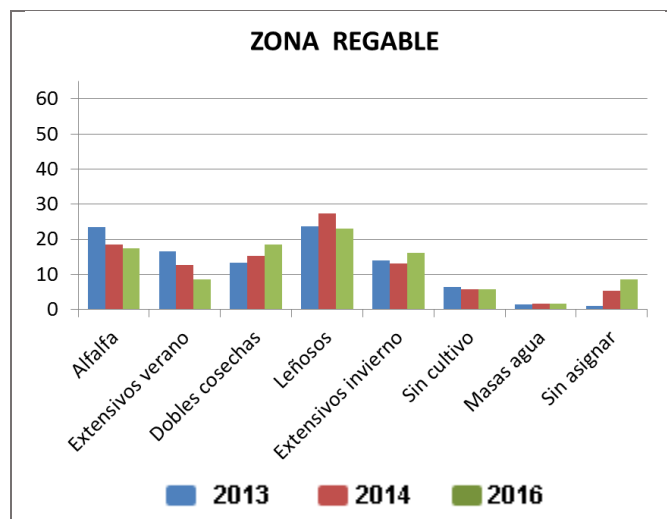


Figura 5. Distribución de la superficie (%) de cultivos y ocupaciones de 2013, 2014 y 2016 en la Zona de la CGRCAYC (Casterad y col., 2016)

### 2.1.1. Descripción del clima

El clima es un factor muy importante para el desarrollo de los cultivos. Influyen varias variables como la temperatura, la precipitación y el viento para desarrollar de forma exitosa su ciclo vegetativo. En la zona de estudio el clima es del tipo Mediterráneo continental, con inviernos fríos y veranos cálidos y secos (Mateu, 2015).

La temperatura media anual gira entorno a los 15°C, con temperaturas bajas en invierno y altas en verano. Hay una oscilación de la media del mes más frío (suele ser enero) al más cálido (suele ser julio) de unos 20°C. Los meses más calurosos son junio, julio, agosto y septiembre, en los cuales la temperatura media supera los 20°C, pudiéndose llegar a los 40°C. En cambio, los más fríos son diciembre, enero y febrero en que la temperatura media no alcanza los 10°C. (Tabla 1).

El período de heladas se localiza en los meses de noviembre a abril, siendo más significativas en diciembre, enero y febrero, llegando a alcanzar temperaturas muy bajas, sobre todo en el mes de enero.

La precipitación es más abundante en el norte, sobrepasando ahí los 400mm al año, si bien en el sur las lluvias son menos abundantes. En cualquier caso, la mayor parte de las precipitaciones se producen en primavera y otoño.

Las cantidades anuales de precipitación no suelen variar mucho de unos años a otros. Lo que sí que puede variar es su distribución a lo largo del año, aunque normalmente las mayores precipitaciones suelen producirse en septiembre-octubre y abril-mayo (Tabla 1). En verano, el mes más seco suele ser julio, lo que unido a la alta evapotranspiración potencial hace que los cultivos precisen de grandes cantidades de agua de riego. Por este motivo, hay que regular el consumo de agua de los pantanos para optimizar el uso del agua y poder regar de forma eficiente durante toda la campaña de verano.

En los meses más calurosos tienden a producirse tormentas de granizo que suelen causar daños notables al cultivo del maíz como a los frutales. En los meses de noviembre, diciembre y enero suelen ser habituales las nieblas que persisten durante varios días o semanas bajando la temperatura media e impidiendo las precipitaciones.

Tabla 2: Temperatura media mensual y precipitación registrada en la estación de Tamarite de Litera (IAEST, 2013)

TAMARITE DE LITERA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL(°C) *	5,35	7,40	0,17	12,44	16,32	20,68	24,59	23,44	20,45	15,28	9,09	5,74	14,24
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL(mm) **	23,7	18,2	21,4	45,3	48,8	28,1	14,3	28,2	44,6	50,0	36,1	27,5	386,2

\*(años 1971-2000) \*\*(años 1981-2010)

La evapotranspiración potencial es la evapotranspiración conjunta entre el agua del suelo y la transpiración de los vegetales. El mes de más evapotranspiración potencial es el de julio debido a que las temperaturas son las más altas y las precipitaciones las más bajas (Figura 6). Además, julio es un mes en el que hay muchas horas de sol y la radiación es muy fuerte.

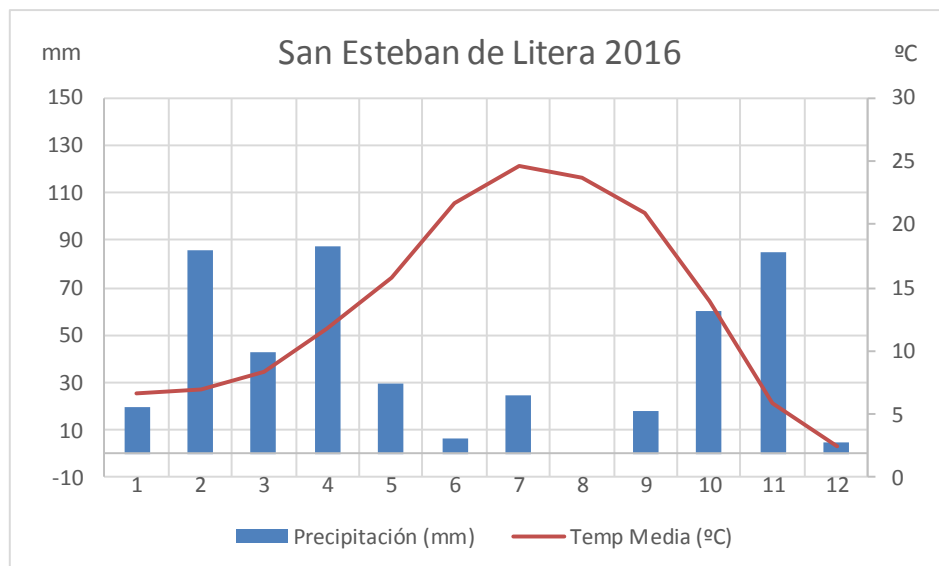


Figura 6. Diagrama ombrotérmico de San Esteban de Litera en el año 2016

Los vientos predominantes de la zona son el cierzo y el bochorno. El cierzo es un viento frío y seco que viene del noroeste, canalizado por el Valle del Ebro y está caracterizado por rachas fuertes y que sopla con bastante frecuencia. El bochorno es un viento cálido proveniente del sureste, mucho más húmedo que el cierzo y es mucho menos habitual que éste. (Tullot, 2000). El mes más ventoso es febrero y el menos ventoso octubre.

## 2.2. El regadío

El Canal de Aragón y Cataluña con más de 100 años de historia, constituye uno de las mayores zonas regables de España. Además de afectar al tema económico, también ha ayudado a fijar a la población en el territorio e incluso a aumentar la población en algunas zonas rurales (Quintilla y col, 2014).

El Canal de Aragón y Cataluña, llamado en un principio Canal de Tamarite de Litera, constituye la primera gran apuesta modernizadora del regadío (CAYC, 2018)

En 1892 con la intervención de Joaquín Costa el presidente de la Cámara Agraria del Alto Aragón, se convocó un acto multitudinario en Tamarite de Litera en el que se acordó exigir al gobierno la realización del canal, una vez aprobada la Ley de 5 de septiembre de 1896 en la cual el Estado asumía la ejecución de las obras. En 1905, Alfonso XIII inauguró la obra, aunque no fue hasta 1910 que se dio por finalizado en canal. El importe para el estado ascendió a 31.940.000 pesetas (Mateu, 2015).

Tras la constitución de la Confederación Hidrográfica del Ebro y para incrementar el caudal del Canal de Aragón y Cataluña, la Confederación hizo la construcción en el cauce del río Esera del pantano de Barasona que se finalizó en 1932, en 1961 la del embalse de Santa Ana y en 2015 San Salvador, en el Noguera Ribagorzana.

La CGRCAyC cuenta actualmente con 129 comunidades de regantes de base distribuidas en los fielatos de Fraga, Raimat, Zaidín, Tamarite de Litera y La Almunia (Tabla 2), abarcando un total de 37 municipios. Aproximadamente el 50% de su superficie regable se riega por aspersión (cobertura fija y pivotes), el 27 % por gravedad y el 23 % goteo (Figura 7).

Tabla 3. Superficie regable de cada fielato en el año 2014 (Quintilla, 2014)

FIELATO	SUPERFICIE (HA)
La Almunia	5.120
Tamarite	18.516
Zaidín	34.927
Raimat	27.550
Fraga	19.051

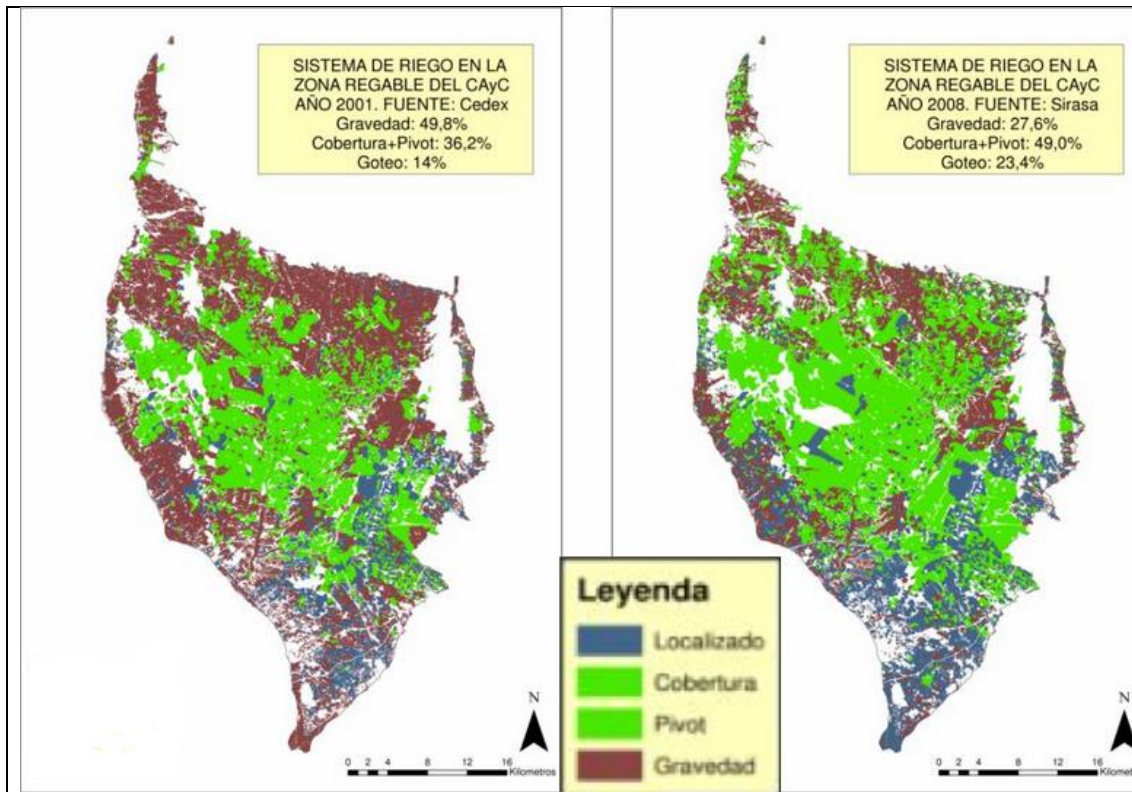


Figura 7. Evolución del sistema de riego de la zona de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (<http://www.cayc.es/index.php/entidad/zona-regable>)

Dicha comunidad general se abastece del pantano de Barasona (92 hm<sup>3</sup>), que capta sus aguas del río Ésera, así como del pantano de Santa Ana (178 hm<sup>3</sup>) y del nuevo pantano de San Salvador (136 hm<sup>3</sup>), operativo desde 2016, los cuales captan sus aguas del río Noguera-Ribagorzana (Radio Huesca, 2016)

El Canal de Aragón y Cataluña dispone de multitud de balsas pertenecientes a particulares y Comunidades de Regantes, lo que dota al canal en si de una mayor flexibilidad de explotación. De dicho canal derivan diversas acequias principales, destacando por su longitud y capacidad el Canal de Zaidín, que junto con el Canal Principal y otras acequias constituyen la red principal, de la que se deriva, a través de sus correspondientes tomas, la red secundaria, tutelada a su vez por las Comunidades de Regantes de Base.

### **3. Material y métodos**

#### **3.1. Identificación de las principales dobles cosechas**

Para conocer las dobles cosechas que se dan en la CGRCAyC y la superficie que ocupan se consultan las bases de datos de las superficies de cultivos declaradas en la PAC (Datos suministrados por la Dirección General de Producción Agraria del Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad del Gobierno de Aragón). De los cinco años de estudio, solamente en las bases de datos de los años 2016 y 2017 se tienen información sobre segundas cosechas.

Se han seguido los siguientes pasos para cada año:

- 1- Selección de aquellos registros en los que se ha declarado que hay dos cultivos diferentes en el mismo año.
- 2- Clasificación de dichos registros en función del producto declarado y del segundo cultivo declarado. Obtención del listado de combinaciones “prod\_dec” y “prod\_seg”. Se clasifican las dobles cosechas creando dos nuevos campos, uno que incluye el primer cultivo separado con un guion del segundo y otro en el que se asigna un código numérico a cada combinación.
- 3- Cálculo de la superficie declarada en cada una de las combinaciones existentes haciendo el sumatorio de los datos del campo “sup\_dec”.
- 4- Selección de aquellas combinaciones más representativas en el área de estudio que sean un cultivo de primavera y uno de verano (Doble cosecha). Se eligen las cinco dobles cosechas con mayor representación que coinciden en 2016 y 2017. Las elegidas son: Cebada-Maíz, Cebada-Girasol, Trigo blando-Maíz, Guisante-Maíz y Raygras-Maíz.
- 5- Creación de una cobertura shapefile por año de estas dobles cosechas que incluye la información de la base de datos de la declaración PAC.

#### **3.2. Caracterización del ciclo fenológico de las dobles cosechas**

Una vez identificadas las principales dobles cosechas objeto de estudio, se procede a buscar las parcelas que se van a utilizar para obtener la fenología característica de cada doble cosecha. La selección de las parcelas se hará utilizando información de las declaraciones PAC e información sobre cultivos de la propia CGRCAyC.

La caracterización fenológica se realizará para la campaña de riego, con series temporales del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) obtenidas de imágenes de satélite, información que se obtiene con la aplicación SPIDER-SIAR indicada en la introducción y de estudios previos realizados en la CGRCAyC por el CITA.

##### **3.2.1. Elección de las parcelas de estudio**

Una vez obtenidas las principales dobles cosechas se preselecciona, con ayuda de las coberturas shapefile y de Qgis, una muestra de recintos de cada una de las dobles cosechas con los que se determinará la fenología tipo de cada doble cosecha. Por motivos operativos, se fija que el número de recintos de estudio sean 10 para cada combinación de doble cosecha. Al tener 5

principales dobles cosechas y 5 años de estudio el número de recintos inicialmente a considera será 250.

Dado que para el estudio resulta conveniente contar con parcelas grandes y representativas, se prueba en 2016 con una preselección de recintos de más de 20 hectáreas obteniéndose 72 recintos, de más de 15 hectáreas obteniéndose 107 recintos y de más de 10 hectáreas obteniéndose 245. Finalmente se opta por la selección de recintos de más de 10 ha pues con las otras opciones no se tienen para algunas combinaciones de doble cosecha suficiente muestra.

Una vez pasado este filtro, con la calculadora de Qgis, se eligen con la cobertura de 2016 recintos de doble cosecha representativos. Se intenta que tengan doble cosecha tanto en 2016 como en 2017 y que estén distribuidos de forma homogénea por toda la zona de estudio (Figura 8). De esta forma se podrá contrastar si existen o no diferencias fenológicas entre diferentes zonas geográficas de la CGRCAyC, además de entre campañas agrícolas. En 2017, se emplean los recintos seleccionadas de 2016 y que tienen alguna de esas dobles cosechas en 2017. Para algún tipo de doble cosechas no se consiguen los 10 recintos y se completan, siguiendo la misma metodología que en 2016, hasta conseguir 10 de cada uno de los 5 tipos de dobles cosechas.

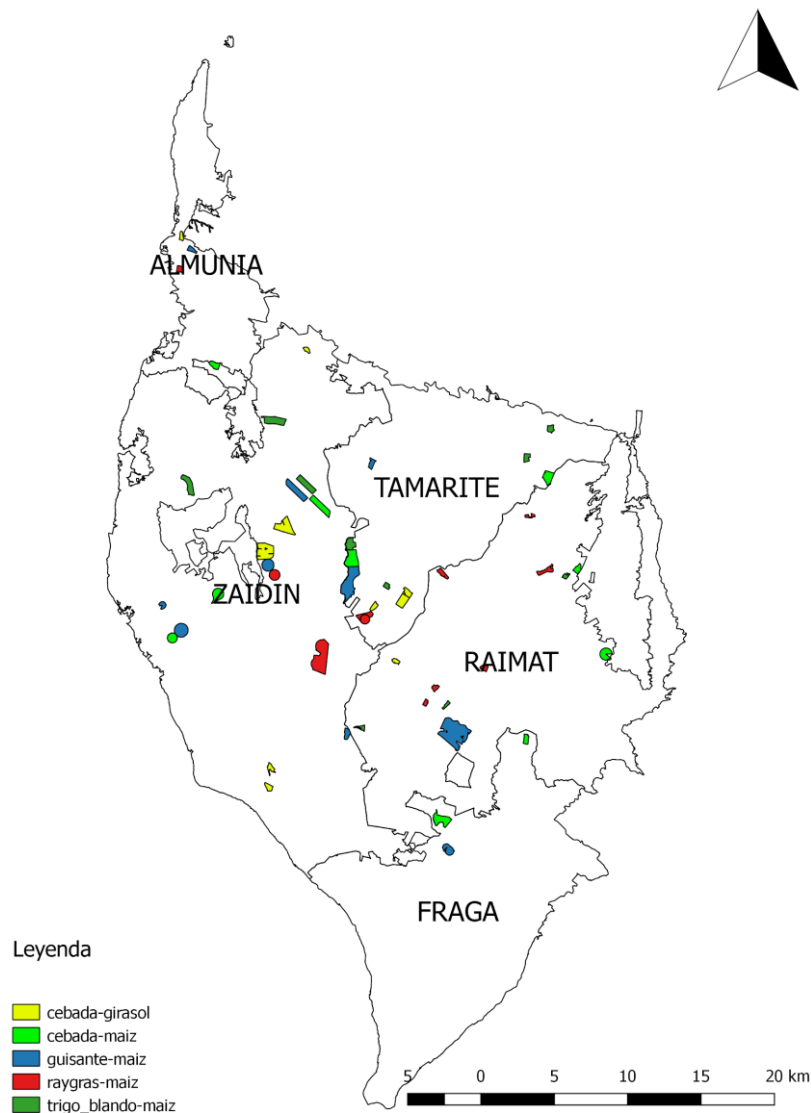


Figura 8. Distribución de recintos PAC seleccionados en la zona de estudio en el año 2016



Una vez seleccionadas los recintos de 2016 y 2017, se numeran de 1 a 10 cada uno de los tipos y se apuntan las coordenadas del centro de cada parcela para luego poder buscarlas más rápido en la aplicación SPIDER-SIAR, herramienta con la que se va a obtener la información necesaria para definir las fenologías tipo.

En 2013, 2014 y 2015, como ya se ha indicado, no se tiene la declaración de dobles cultivos. La selección de las parcelas con dobles cosechas en 2013 y 2014 se realiza con información generada dentro de unos convenios entre la CGRCAYC y el CITA para la monitorización y seguimiento de cultivos en la zona regable de la Comunidad General (información sobre dichos trabajos puede encontrarse en Casterad y col. 2014). Concretamente se utiliza la verdad-terreno de parcelas con doble cultivo recogida por la CGRCAYC y los mapas de cultivo elaborados.

Las parcelas del año 2015, a falta de otra información se seleccionan a partir de las de 2016 y 2017. Se observa si las parcelas con doble cosechas en 2016 y 2017 tienen también doble cosecha en 2015. Para ello se comprueba la curva de evolución del NDVI en el año 2015 (ver apartado siguiente) comprobando que corresponde a una doble cosecha.

En la Tabla 3 se incluye el número de recintos seleccionados para cada tipo de doble cosecha y año de estudio.

Tabla 4- Número de recintos elegidos como posibles parcelas de estudio

Doble cosechas	2013	2014	2015	2016	2017
Cebada-maíz	8	15	21	10	16
Cebada-girasol	0	0	3	10	10
Guisante-maíz	4	5	1	10	10
Raygras-maíz	1	7	3	10	9
Trigo blando-maíz	4	14	8	10	10
Total	17	41	36	50	55

### 3.2.2. Obtención de series temporales de evolución de NDVI

Una vez seleccionados los recintos, con la herramienta SPIDER-SIAR (Figura 9), se localizan los de 2016 empleando la Proyección de Mercator para buscar a través de las coordenadas del recinto. Dentro de cada recinto se elige una zona homogénea y representativa que corresponda a una parcela y se pincha sobre ella con la herramienta que SPIDER-SIAR ofrece para sacar información sobre el NDVI. Se selecciona la opción de NDVI desde el 1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2017 y un cuadrante de 9x9 píxeles que corresponde a un cuadrado de 270 m de lado del que se saca el valor medio de NDVI (Figura 9). La herramienta SPIDER-SIAR no permite realizar estos procesos de forma automática para todos los recintos a la vez, por lo que hay que hacerlo uno a uno.

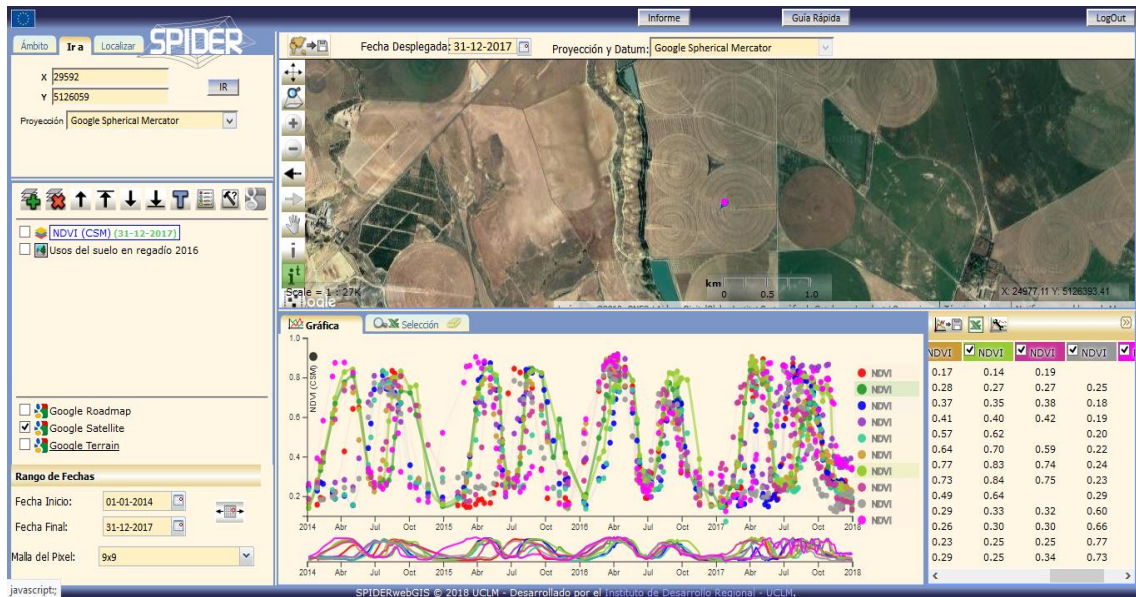


Figura 9. Ejemplo de captura de información del NDVI con herramienta SPIDER-SIAR

La aplicación proporciona una gráfica de la evolución del NDVI y los valores de NDVI obtenidos de las imágenes disponibles en cada fecha. Estos datos pueden exportarse a Excel. Con esta información se constata que realmente los datos proporcionada por la PAC responde a una parcela de doble cosecha en cada año (curva de evolución con dos prominencias, una por cada cultivo de la doble cosecha). De no ser así, se busca otra parte de del recinto que responda a doble cosecha pues en ocasiones un recinto puede tener varios usos. En la Figura 10, se muestra la curva de evolución de NDVI de una parcela que corresponde a la serie 8, la cual, tiene declarado guisante-maíz y su curva no responde a esa combinación por lo que es eliminada.

En 2017 se sigue el mismo proceso que en 2016 teniendo que buscar sólo las parcelas nuevas que no se habían elegido en 2016.

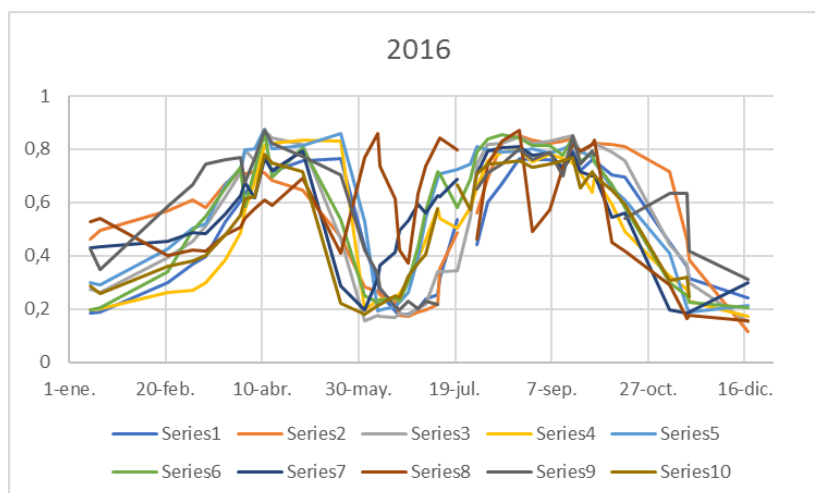


Figura 10. Evolución del NDVI en parcelas declaradas como doble cosecha guisante-maíz

Una vez obtenido el NDVI de las parcelas en los años 2016 y 2017, se mira qué parcelas tienen doble cosecha en 2015. Se busca en la base de datos de las declaraciones PAC de 2015 qué cultivo tienen declarado (sólo hay obligación de declarar uno), deduciendo cuando se puede el otro cultivo de la doble cosecha según la forma de la gráfica de la evolución del NDVI.

En el caso de 2013 y 2014 se trabaja con las curvas de evolución de NDVI disponibles de los trabajos previos realizados en los convenios CGRCAYC-CITA mencionados anteriormente. En este caso la densidad de datos (número de imágenes) es mucho menor pues responde a las condiciones de trabajo establecidas en dichos convenios. Además, el NDVI corresponde al NDVI medio de la parcela sin considerar en el cálculo sus píxeles de borde.

Toda la información obtenida se exporta a hojas de cálculo Excel donde se clasifica por tipo de doble cosecha y año, y se grafican las curvas de evolución de NDVI.

### 3.2.3. Definición de fenologías tipo

Previo a la utilización de las series temporales de NDVI para la caracterización de las fenologías, se debe hacer un trabajo de depurado de los datos en Excel. A veces falta información en algunas fechas y para algunas parcelas debido a la interferencia de las nubes. Se completa la serie con el promedio de valores de NDVI de la fecha precedente y posterior siempre que esta no supere los 10 días. También se depuran aquellas fechas donde se aprecia un efecto de nube o su sombra en el valor de NDVI. Las fechas con falta de datos en la mayor parte de las parcelas de un mismo tipo de doble cosechas y año se eliminan (Figura 11). En la Figura 11, se muestran en amarillo las filas que se eliminan y los números con color de fuente roja, han sido obtenidos interpolando con las fechas más cercanas, ya que no se tenían datos para estas fechas debido a las nubes.

	C-G_5 2016	C-M_3 2016	C-M_6 2016	C-M_7 2016	C-M_8 2016	C-M_10 2016
21/06/2017	0,26679012	0,19012346	0,23530864	0,25604938	0,23592593	0,20530864
25/06/2017	0,26111111	0,20432099	0,23308642	0,25407408	0,23006173	0,22049383
28/06/2017	0,26148148					0,21080247
30/06/2017	0,26185185	0,21851852	0,2308642	0,25209877	0,22419753	0,20111111
05/07/2017	0,26098765	0,28234568	0,22160494	0,29666667	0,22419753	0,20296296
07/07/2017	0,24648148	0,32962963	0,23728395	0,33574074	0,25358025	0,20037037
10/07/2017	0,23197531	0,37691358	0,25296296	0,37481481	0,28296296	0,19950617
14/07/2017	0,26246914	0,37654321	0,30407407	0,46259259	0,35283951	0,22919753
20/07/2017	0,26962963	0,44037037	0,40728395	0,60555556	0,45351852	0,25888889
23/07/2017	0,24024691	0,57592593				0,28061729
25/07/2017	0,22703704	0,71148148	0,51049383	0,74851852	0,55419753	0,30234568
30/07/2017	0,2262963	0,7154321	0,57679012	0,76320988	0,64444444	0,40765432
04/08/2017	0,23530864	0,77728395	0,7037037	0,8254321	0,64271605	0,50185185
08/08/2017	0,24432099	0,81271605	0,76691358	0,83555556	0,79246914	0,64345679
09/08/2017	0,3125926	0,81876543	0,78154321	0,84703704	0,79	0,51851852

Figura 11. Valores de NDVI obtenidos para la doble cosecha cebada-maíz en el año 2016

También se eliminan aquellas parcelas que no corresponden a la curva característica de cada doble cosecha y que pueden deberse a errores en la declaración de la PAC, cambio de cultivo implantado frente al declarado, condiciones anómalas de cultivo etc. En la Figura 10, se observa como la 'serie 8' tiene un comportamiento que no responde a la doble cosecha girasol-maíz que es lo que tenía declarado esa parcela.

Una vez depurados los datos y obtenidas las curvas anuales de evolución de NDVI para cada parcela, se hace el promedio de NDVI de todas las parcelas seleccionadas en cada doble cosecha y para cada año. Esta es la curva fenológica característica (“fenología tipo”) de cada doble cosecha para cada año.

En algunos cultivos y años, se observa curvas fenológicas claramente diferentes en determinados momentos del ciclo del cultivo, debido posiblemente a diferentes variedades que tienen un ciclo diferente o a diferente manejo del cultivo. En estos casos conviene considerarlas y se genera más de una fenología tipo por doble cosechas y año (Figura 12).

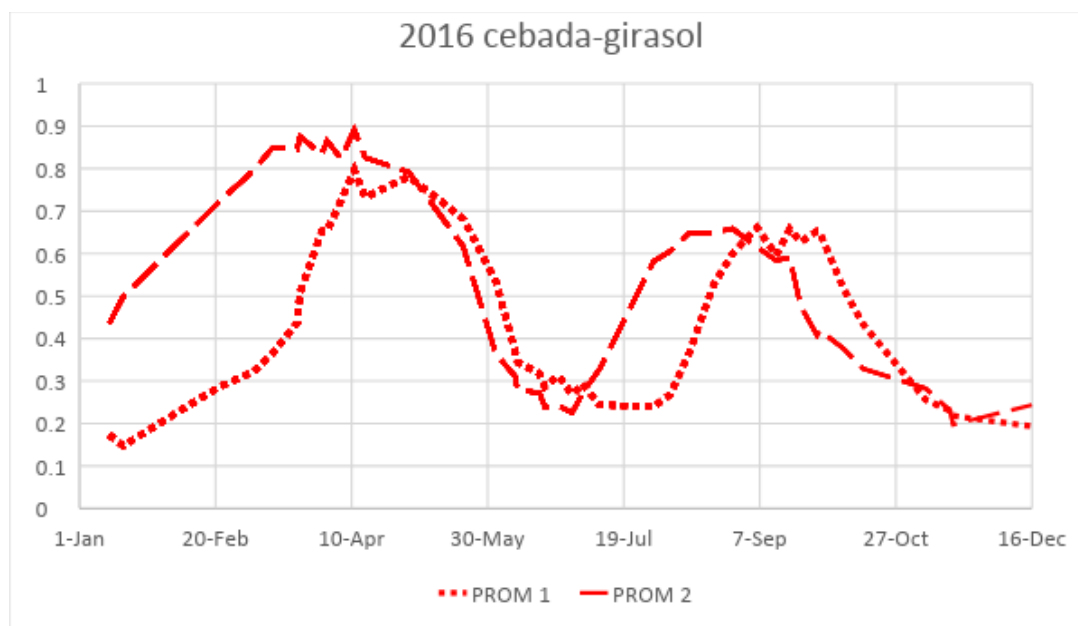


Figura 12. Ejemplo de diferentes tipos de evolución del NDVI en doble cosecha de cebada-girasol

### 3.3. Determinación de la variabilidad espacio temporal de la fenología de las dobles cosechas

Por último, se comparan las curvas fenológicas de las parcelas para ver si existen diferencias en la fenología entre los diferentes años y entre diferentes zonas de la CGRCAYC.

#### 3.3.1. Variabilidad entre zonas geográficas

A la hora de seleccionar las parcelas de estudio (ver apartado anterior), como ya se indicó anteriormente, además de tener en cuenta la característica de haber tenido una doble cosecha en los años 2016 y 2017, también se tuvo en cuenta que estuvieran distribuidas por toda la zona de estudio, como se aprecia en la Figura 8, con el fin de poder observar si existen variaciones entre las diferentes zonas geográficas. No obstante, existe una importante dificultad en los felatos de Fraga y en el de la Almunia donde hay muy pocas parcelas con doble cosecha. Este aspecto se discute más adelante en *Resultados y Discusión*.

El análisis de la variabilidad entre zonas geográficas se hace comparando para una misma campaña de riego las curvas de evolución de NDVI y observando si existen diferencias entre ellas, y si estas diferencias están relacionadas con la localización de la parcela

### 3.3.2. Variabilidad entre campañas agrícolas

El análisis de la variabilidad entre campañas de riego se hace comparando las curvas fenológicas tipo de una misma doble cosecha en los diferentes años (Figura 13). Se analiza si las diferencias entre años observadas para una misma doble cosecha se repiten en los otros tipos de dobles cosechas. Toda esta información permite analizar el desfase en la fenología que se produce por las condiciones meteorológicas específicas de cada año

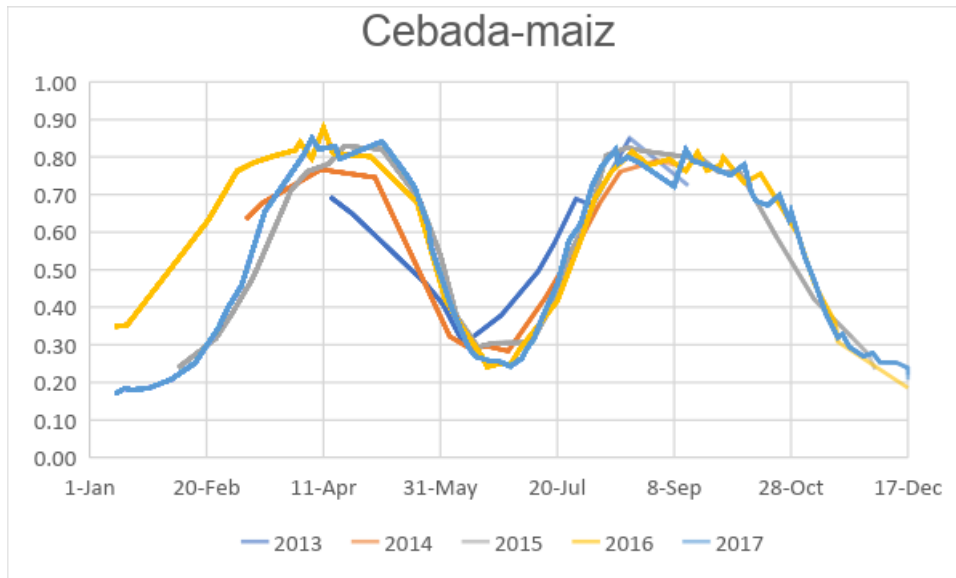


Figura 13. Curvas tipo de evolución de NDVI de la doble cosecha cebada-maiz

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Tipos y presentación de las dobles cosechas en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña

El análisis de la información obtenida de las declaraciones PAC sobre los tipos de dobles cultivos en el área de estudio ofrece datos para así poder centrar el estudio en las más representativas y relevantes.

En 2017 la superficie declarada con doble cultivo es de 14201 ha repartidas en 67 combinaciones diferentes. En 2016 la superficie es algo menor, 12004 ha, y hay 64 tipos de combinaciones. De estos dobles cultivos sólo se estudian las dobles cosechas, entendiendo como tales dos o más cultivos diferentes que se cosechan en el mismo año y ocupan la misma superficie de terreno. En la Tabla 4, se muestran algunas combinaciones que tienen dos cultivos en el mismo año pero que no son consideradas como dobles cosechas. Por ejemplo, la coexistencia de dos cultivos que alguno de ellos permanece en el campo varios años después de su siembra como las combinaciones de cereal con alfalfa, no responde a una doble cosecha. También aparecen algunas combinaciones que no tienen sentido, tal y como se entienden las dobles cosechas en este trabajo. Todos estos recintos representan un porcentaje muy pequeño y no se tienen en cuenta para la identificación de las principales dobles cosechas.

Tabla 5. Dobles cultivos declarados en la PAC de 2017 y 2016 no considerados como dobles cosechas

Variedad cultivada 2017	2017 (%)	Variedad cultivada 2016	2016 (%)
trigo blando-alfalfa	3,87	alfalfa - maíz	0,58%
cebada-mezcla veza avena	0,27%	alfalfa - cebada	0,45%
alfalfa-maíz	0,24%	cebada - alfalfa	0,38%
alfalfa-cebada	0,20%	mezcla veza - avena - maíz	0,35%
raygras-cebada	0,18%	maíz - alfalfa	0,31%
cebada-alfalfa	0,13%	maíz - maíz	0,25%
pastos de menos de 5 años-maíz	0,10%	trigo blando - alfalfa	0,12%
cebada-cebada	0,07%	mijo - trigo blando	0,05%
mijo-cebada	0,04%	alfalfa - trigo blando	0,05%
pasto del sudán-avena	0,02%	sorgo - alfalfa	0,04%
melocotoneros-perales	0,01%	alfalfa - avena	0,03%
maíz-maíz	0,01%	barbecho sin producción - maíz	0,03%
alfalfa-raygras	0,01%	alfalfa - raygras	0,02%
higuera-higuera	0,00%	melocotoneros - perales	0,02%
barbecho sin producción-maíz	0,00%	alfalfa - agrostis	0,02%
pastos permanentes de 5 o mas años- cebada	0,00%	raygras - pastos de menos de 5 años	0,01%
otras utilizaciones no agrarias ni forestales-cebada	0,00%	maíz - olivar	0,01%
		huerta - huerta	0,01%
		pastos permanentes de 5 o mas años - maíz	0,00%
		olivar - maíz	0,00%
		pastos permanentes de 5 o mas años - cebada	0,00%
		otras utilizaciones no agrarias ni forestales - maíz	0,00%

En la Figuras 14 se representan las dobles cosechas declaradas de 2016 y 2017 que suponen más del 1% de la superficie total declarada con segunda cosecha. Todas aquellas combinaciones de

producto declarado y segunda cosecha declarada con una representación menor del 1% se han agrupado en una categoría denominada Otros.

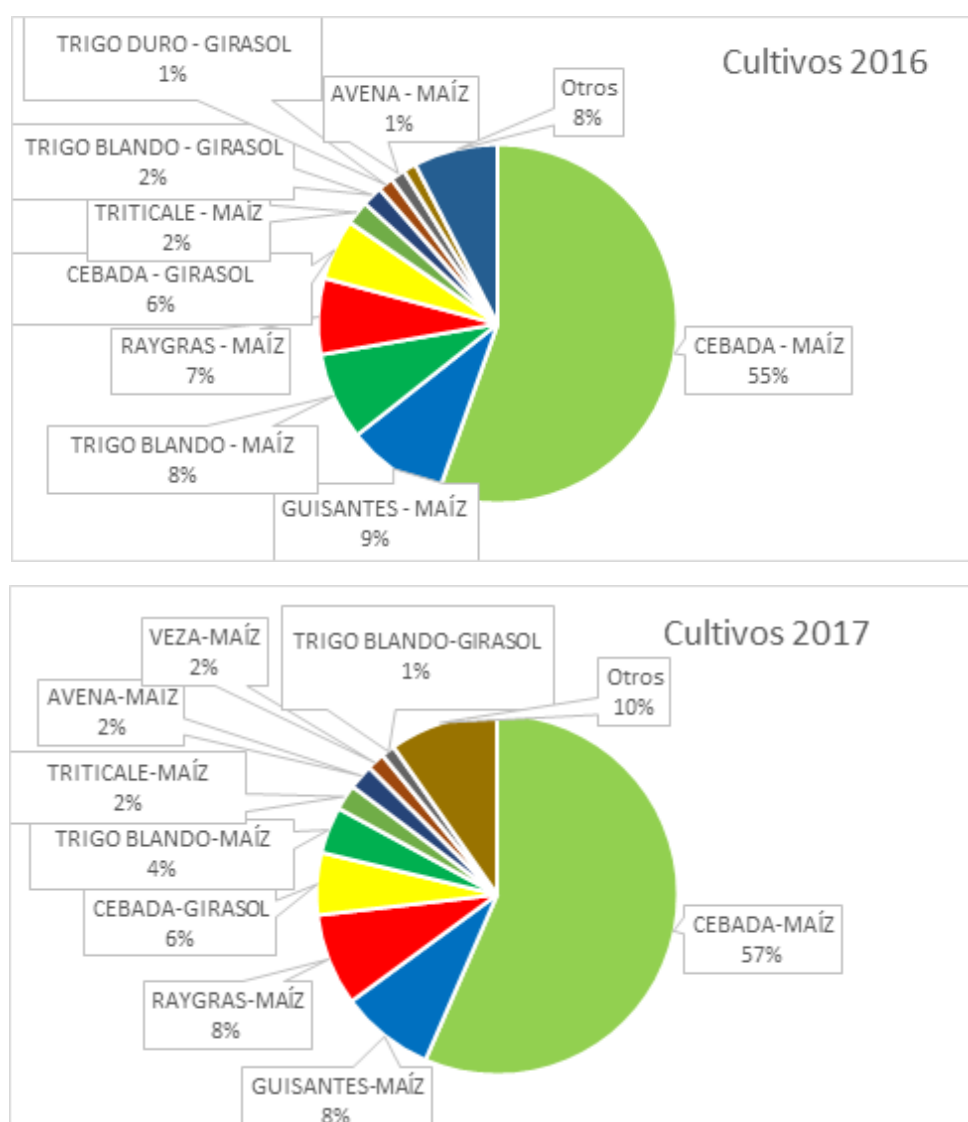


Figura 14. Principales dobles cosechas en la zona regable de la CGRCAyC en 2016 y 2017

En general, estas dobles cosechas se repiten en los dos años. La doble cosecha cebada-maíz, representa más de la mitad de la superficie con dobles cosechas tanto en 2016 como en 2017, por lo que es la que más importancia tiene, además representa un porcentaje bastante estable en ambos años.

Las combinaciones cebada-girasol, guisantes-maíz y raygras-maíz, mantienen una representación fija en ambos años sin variar mucho su representación (Figura 14). Existe una disminución de la superficie de trigo blando-maíz entre 2016 y 2017. Se desconoce el motivo de este cambio. Probablemente obedezca a un cambio en la toma de decisiones de los agricultores ante el comportamiento del mercado de este producto.

El resto de las combinaciones tienen poca representación, no superando ningún año el 2%.

Para realizar el estudio se han seleccionado los 5 tipos de dobles cosechas con mayor representación en 2016 y 2017. En ambos años han sido las mismas: cebada maíz, cebada-girasol, trigo blando-maíz, raygras-maíz y guisantes-maíz. La superficie ocupada por estas 5 combinaciones representa más del 80 % de la superficie ocupada por las dobles cosechas (Figura X).

## **4.2. Dinámica de las dobles cosechas.**

### **4.2.1. Parcelas de estudio**

La elección de las parcelas para la caracterización fenológica de las dobles cosechas en 2015, 2016 y 2017 se realizó con los recintos de las declaraciones PAC que se representan en la Figura 15. Pese a intentar obtener una representación de dobles cosechas distribuida por toda la zona regable de la Comunidad General, no ha sido posible. Las dobles cosechas se concentran mayoritariamente en los fielatos de Zaidín, Tamarite de Litera y Raimat.

En los fielatos de Almunia y Fraga, existen muchas menos parcelas que presentan dobles cosechas en todos los años de estudios. En el fielato de Fraga, el cultivo de frutales ocupa una parte importante de la superficie, más de la mitad, teniendo las dobles cosechas muy poca representación (Casterad y col., 2016). La superficie del fielato de Almunia es considerablemente menor que la del resto, 5120 ha frente al fielato de Zaidín, que es el más grande, con 34927 ha (Quintilla, 2014) y por este motivo la disponibilidad de parcelas con las condiciones deseadas es menor. Además, en este fielato, regado mayoritariamente por gravedad (Figura 5) son los cultivos extensivos sobre todo de invierno los predominantes (Casterad y col. 2016). El fielato que mayor número de recintos con doble cosecha presenta todos los años es el de Zaidín.

Muchos de los recintos seleccionados se encuentran en la parte central de la zona de estudio entre los fielatos de Zaidín, Tamarite y Raimat, ya que en esta zona es donde más cantidad de parcelas con doble cosecha hay. En las dobles cosechas menos abundantes es más difícil encontrar una buena distribución de recintos por toda el área de estudio.

En 2013 y 2014 en lugar de recintos PAC la selección, como ya se indicó en *Material y métodos* fue de parcelas. La distribución es similar a la de los años 2015, 2016 y 2017. Muchas de estas parcelas se encuentran en el fielato de Zaidín.



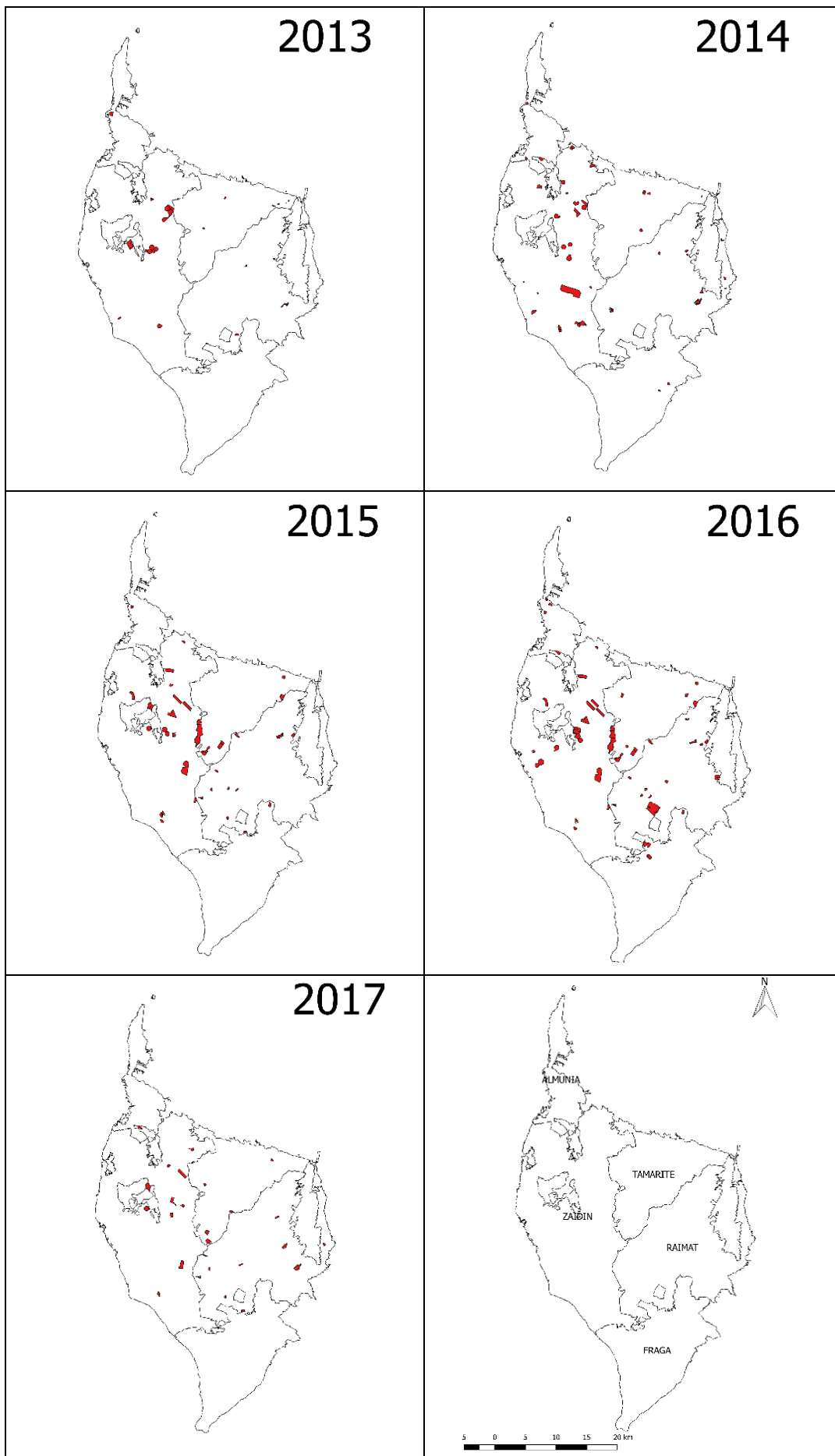


Figura 15. Distribución en el CGRCAyC de los recintos elegidos cada año de estudio

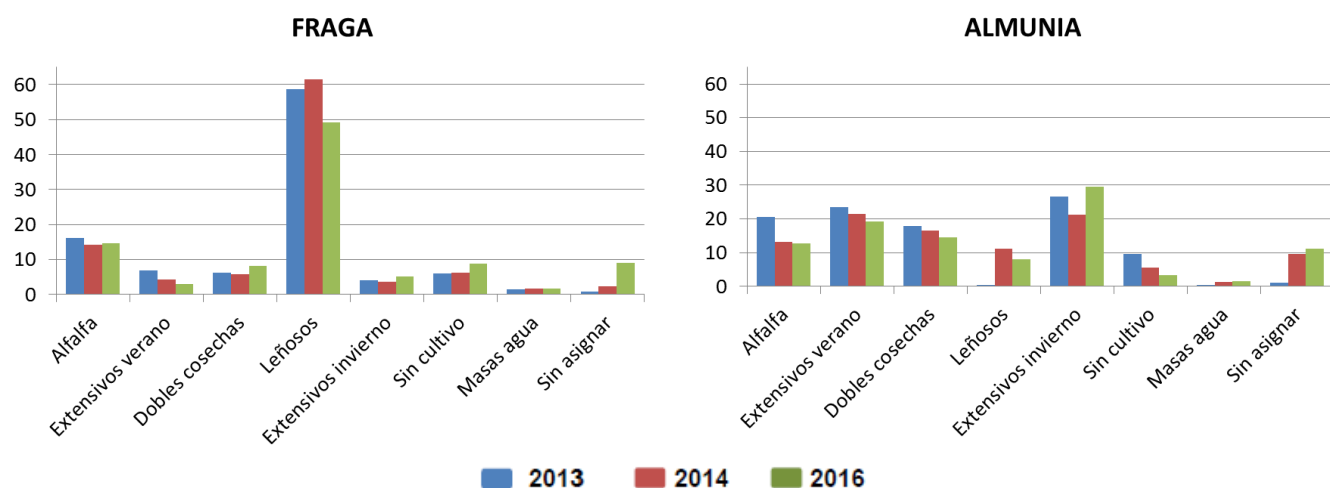


Figura 16. Distribución de la superficie (%) de cultivos y ocupaciones de 2013, 2014 y 2016 en el fielato de Fraga y Almunia (Casterad y col., 2016).

En la Tabla 5 se muestra el número de parcelas finalmente utilizadas para la caracterización de la fenología tipo de cada doble cosecha tras efectuar la depuración de parcelas comentada en el apartado de Material y Métodos.

Tabla 6. Número de parcelas elegidas para el estudio fenológico

Doble cosechas	2013	2014	2015	2016	2017
Cebada-maíz	7	13	16	9	11
Cebada-girasol	0	0	2	8	7
Guisante-maíz	4	5	1	9	7
Raygras-maíz	1	5	3	9	8
Trigo blando-maíz	4	11	5	7	9
Total	16	34	27	42	42

En los años 2016 y 2017 cada doble cosecha está representada por un número de parcelas que oscila entre 7 y 11, número cercano a las 10 parcelas consideradas inicialmente como ideal para este estudio. En el año 2015, al escoger las parcelas en función de las dobles cosechas en 2016 y 2017, se tienen muchas parcelas de cebada-maíz ya que es la principal doble cosecha. En cambio, en el resto de dobles cosechas el número de parcelas es escaso, solo alcanzándose las 5 parcelas para la doble cosecha Trigo blando-maíz.

En los años 2013 y 2014, no se ha podido estudiar la fenología de la doble cosecha cebada-girasol debido a que en la información disponible no había ninguna parcela con esta combinación. La doble cosecha cebada- maíz, al igual que en los otros años, es la que está representada por un número mayor de parcelas, 7 y 13 respectivamente. En 2013 solo se cuenta con una parcela de Raygras-maíz.

#### 4.2.2. Caracterización fenológica

Se presentan y discuten a continuación las diferentes series temporales de evolución anual del NDVI, curvas que se usan para caracterizar la fenología de las dobles cosechas. El estudio se realiza para el periodo de la campaña de riegos que habitualmente en la CGRCAYC se extiende desde primeros de marzo hasta mediados de octubre.

Las curvas de evolución de NDVI que se muestran permiten el seguimiento de desarrollo de los cultivos y ver las diferentes fases del cultivo: fase inicial con NDVI bajo que prácticamente no aumenta durante toda la fase; fase de desarrollo donde el NDVI aumenta notablemente hasta alcanzar los máximos valores, fase media o de pleno crecimiento en la que el NDVI alcanza y mantiene los máximos valores y fase de maduración en la que el NDVI disminuye hasta valores mínimos (Allen y col. 2006).

Para cada tipo de doble cosecha se muestra una figura que incluye las diferentes curvas tipo de evolución de NDVI (“fenologías tipo”) en los años de estudio. Para algunos años existen varias curvas tipo, debido a que para ciertos cultivos hay variaciones fenológicas que conviene estudiar de forma específica. En la leyenda de las figuras, se indica en primer lugar el año al que pertenece la curva seguido de un número que representa cada uno de los diferentes tipos de curvas, y por tanto fenologías, establecidas. Además, cada uno de los tipos identificados se representa con un formato de línea diferente. En los años que solo se define una fenología la línea es continua. Para cada año se utiliza un color diferente.

Para 2013 y 2014 la serie temporal de NDVI no abarca toda la campaña de riego y presenta información de pocas fechas, lo que debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados. Desde 2013 cada año se tienen más fechas con valores de NDVI, por este motivo, la curva obtenida no expresa con tanto detalle el ciclo del cultivo en los primeros años como en los últimos, en los que se tienen más imágenes y por tanto valores de NDVI.

Otro aspecto a resaltar respecto a las curvas de evolución de NDVI es que, en 2013, 2014 y 2015 están construidas con series temporales de NDVI del satélite Landsat 8, y en los años 2016 y 2017 con imágenes de Landsat 8 y Sentinel 2 que tienen diferentes sensores. Los NDVI obtenido con uno u otro satélite presentan ciertas diferencias en el NDVI, aspecto que se aprecian en las curvas obtenidas.

En la Figura 17 se muestra un ejemplo de curva de evolución de NDVI donde se observa como en fechas muy próximas, Sentinel 2 nos ofrece valores más elevados que los de Landsat para NDVI altos (marzo y abril) y menores para NDVI bajos (junio). También, la serie Landsat parece algo menos consistente que series Sentinel, presentando en fechas próximas oscilaciones, probablemente debidas mayor influencia de las condiciones atmosféricas.

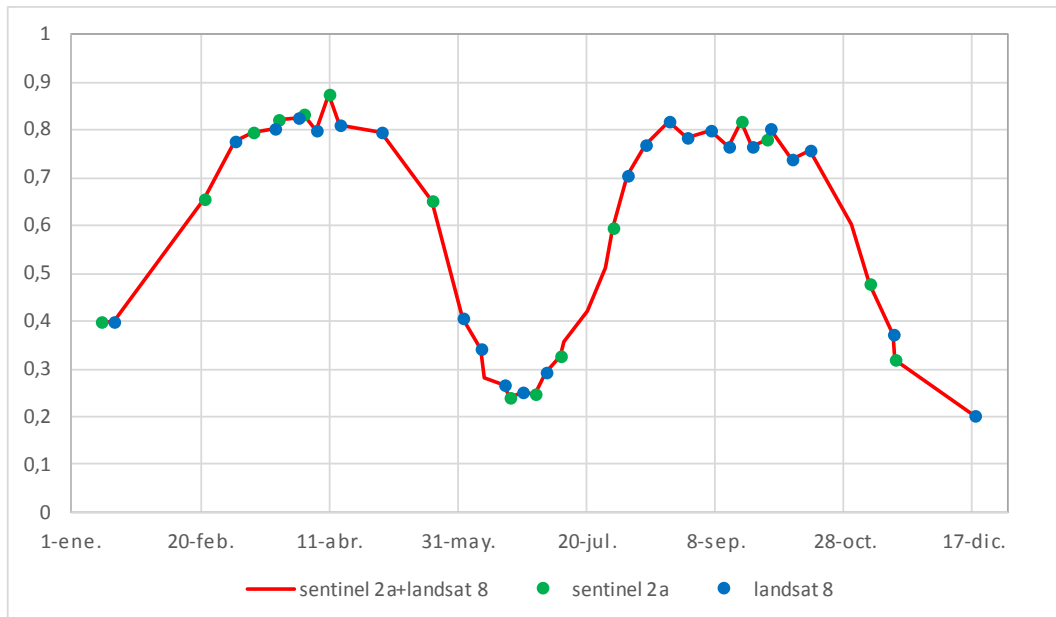


Figura 17. Ejemplo de serie temporal de NDVI obtenidas con Sentinel 2 y Landsat 8

- Cebada-Maíz

En primer lugar, se analiza la doble cosecha cebada-maíz que es la que más superficie representa en la zona de estudio. Se observa que para todos los años menos 2017, hay más de una curva de evolución de NDVI para caracterizar la fenología de la doble cosecha (Figura 18). Estas diferentes curvas responden principalmente a diferencias en el cultivo de la cebada, donde existen más tempranas y tardías. En el segundo cultivo, el maíz, la curva es muy similar todos los años.

Destaca una curva muy diferente al resto, la 2013-2, donde se observa una variedad muy temprana de cebada con una de maíz también muy temprana. También difiere del resto la 2015-1 donde el maíz comienza su ciclo antes. Estas curvas se comentarán por separado.

En marzo cuando empieza la campaña de riego, la cebada ya está en la fase de crecimiento. Se observa una etapa de crecimiento que empieza en general en febrero y se extiende hasta inicio de abril en las variedades más tardías. En 2016 esta etapa comienza más temprano, pero alcanza su punto más alto (inicio fase media) a principio de marzo.

La fase media de pleno desarrollo, en la cual el cultivo no aumenta ya su vigorosidad y mantiene su NDVI prácticamente constante, es la siguiente que se aprecia. Esta etapa comienza entre finales de marzo y principio de abril y finaliza cuando el cultivo empieza la maduración, hacia la mitad de mayo. En el año 2016 esta etapa comienza la primera semana de marzo y acaba igual que en los otros años.

La fase final, comienza a mitad de mayo y dura hasta mediados-tercera semana de junio que es cuando se cosecha la cebada. todos los años esta fase tiene una duración similar. Las series 2014-2 y 2015-2 alcanzan unos valores de NDVI menores debido a que el desarrollo vegetativo de estas parcelas es inferior al resto y puede deberse a diferentes causas, como un suelo pobre en nutrientes, problemas con el riego, enfermedades. El NDVI está relacionado con el coeficiente de cultivo. De las curvas de evolución del NDVI se puede obtener la evolución del

coeficiente de cultivo, información necesaria para determinar las necesidades hídricas de los cultivos (Cuesta y col. 2005, Calera y col. 2005).

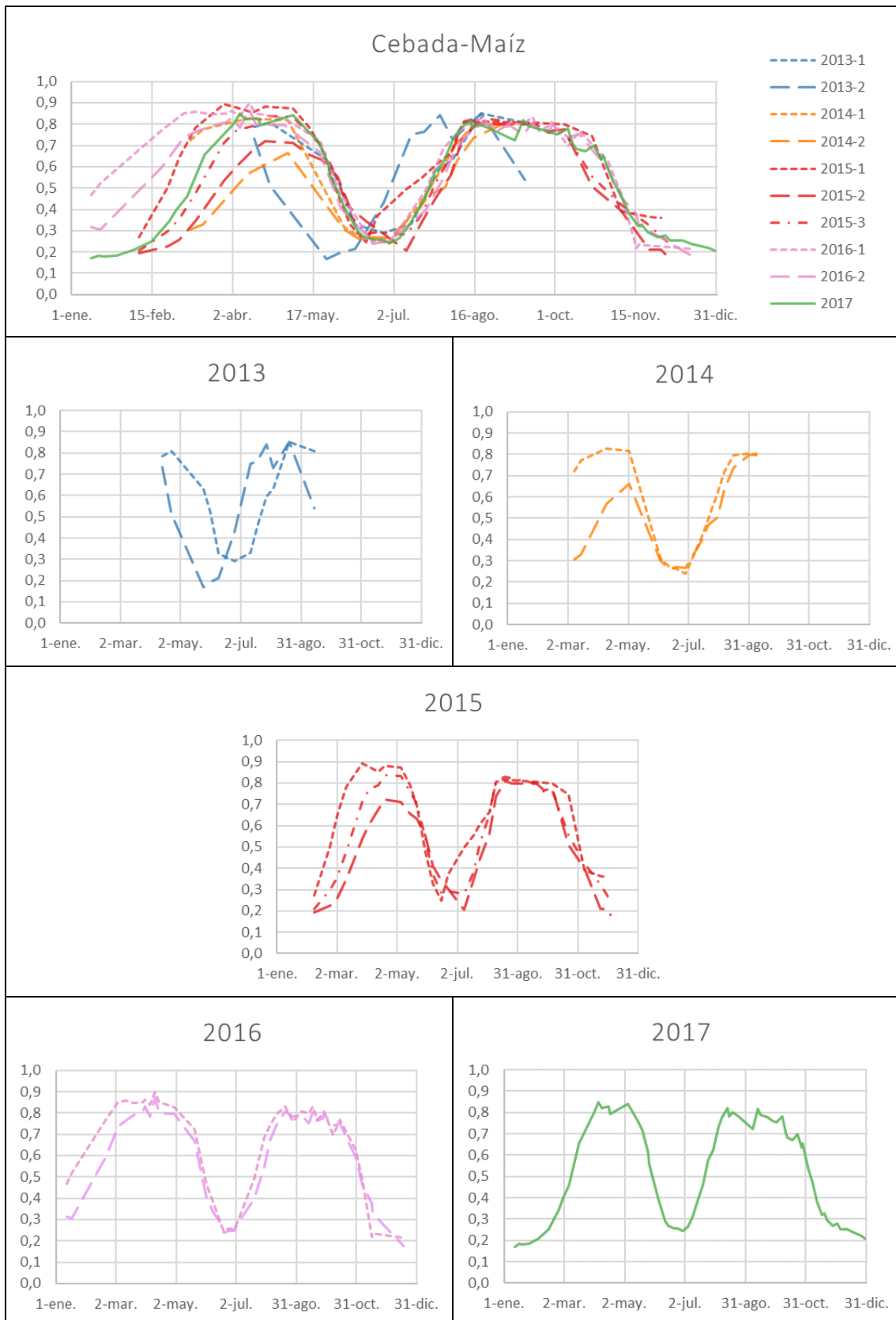


Figura 18. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha cebada-maíz en los años de estudio

En el caso del maíz la fase de crecimiento comienza la primera semana de julio en todas las parcelas siguiendo una tendencia muy similar hasta que llegan a la fase media a mitad de agosto. La fase media dura hasta la segunda semana de octubre que es cuando el cultivo comienza a secarse y empieza la etapa final.

En la curva 2015-1 la fase de crecimiento es más larga. Se ve que el maíz se ha sembrado inmediatamente después de haber cosechado la cebada y cuando acaba la fase de crecimiento su ciclo se iguala con el resto de parcelas.

La curva 2013-2 corresponde a una única parcela que se sabe con certeza que es cebada-maíz porque forma parte de la verdad-terreno que recoge la CGRCAYC en visitas de campo. Esta parcela no responde al mismo ciclo que el resto de parcelas que tienen esta misma doble cosecha. Habría que saber las condiciones específicas en las que se cultiva. Esta fenología tipo se descarta de momento, al tratarse de una única parcela y tener estas características tan diferentes. En el futuro, si se tiene información de más parcelas con idéntico comportamiento se podrá considerar.

#### - Cebada-Girasol

De esta doble cosecha no se tienen datos en 2013 y 2014. Se analizarán los años 2015, 2016 y 2017 (Figura 19).

La cebada es similar a la cebada de la doble cosecha cebada-maíz. En 2016-2 y 2017-1 la etapa de crecimiento comienza más temprano que en el resto de años, pero alcanza su punto más alto (inicio fase media) igual que el resto. En 2015 esta etapa comienza el 12 de marzo y dura hasta mediados de abril igualándose con el resto de años.

El año 2015 presenta una fenología ligeramente retrasada respecto al resto. En este año la fase media comienza a mediados de abril y dura hasta la cuarta semana de mayo. La fase final dura hasta mediados de junio que es cuando se cosecha la cebada teniendo en todos los años esta fase una duración similar.

En el cultivo de girasol, se observan dos tendencias diferentes en la fase de crecimiento y fase media, por un lado 2017-1, 2017-3 y 2016-2 y por otro lado 2017-2, 2016-1 y 2015. En la fase final las curvas de NDVI presentan menos dispersión.

En 2017-1, 2017-3 y 2016-2 en los cuales el cultivo irá más adelantado debido a una siembra más temprana, la primera fase o fase media comienza la primera segunda semana de julio y dura hasta la primera semana de agosto. En 2017-2, 2016-1 y 2015 comienzan la última semana de julio y dura hasta la tercera semana de agosto.

La fase media va desde la primera semana de agosto hasta la tercera semana de septiembre y la fase final va desde la tercera semana de septiembre hasta mediados de noviembre. Por otro lado, en 2017-2, 2016-1 y 2015 la fase media dura desde la tercera semana de agosto hasta la cuarta semana de septiembre. La fase final se extiende desde la cuarta semana de septiembre hasta finales de noviembre.

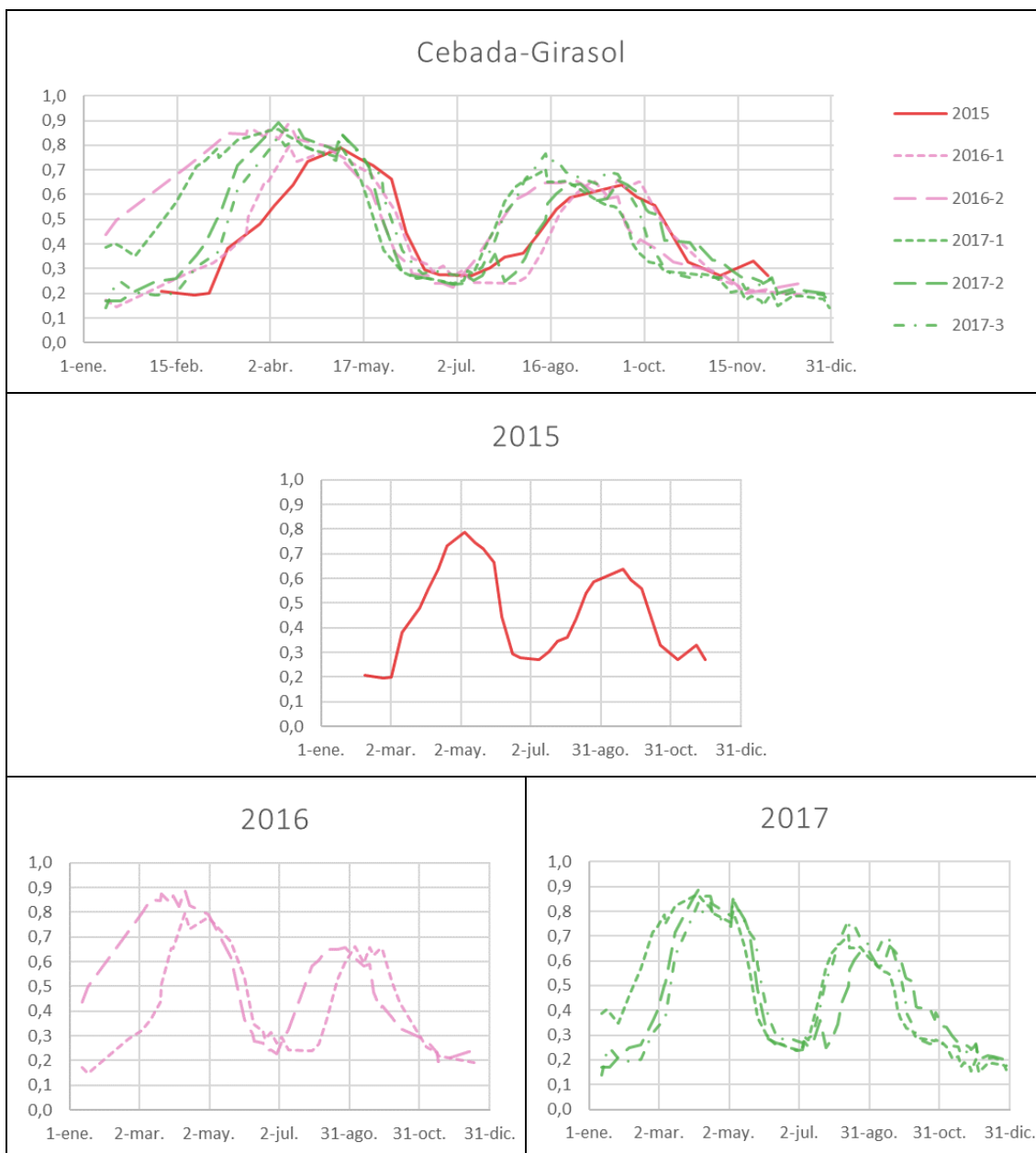


Figura 19. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha cebada-girasol en los años de estudio

- Trigo blando-maíz

Cuando empieza la campaña de riego en marzo, el trigo, está en la fase de crecimiento (Figura 20). Según los años y tipos de fenologías, está esta fase más o menos avanzada y se extiende más o menos. En 2015, 2016 y 2017-1 dura hasta principio de marzo, pero en 2017-2 y 2017-3 se alarga hasta fin de mes. En 2014-1 el comportamiento es muy diferentes al resto de series. Este comportamiento es similar al observado en de la doble cosecha cebada-maíz 2014-2. Se tendrá que investigar en el futuro este caso.

La fase media o de pleno desarrollo finaliza entre mediados y finales de mayo. En 2013-2 esta etapa dura hasta principio de junio. La fase final, comienza a finales de mayo y dura hasta finales

de junio-principio de julio que es cuando se cosecha el trigo. En 2013-2, esta etapa dura hasta finales de julio.

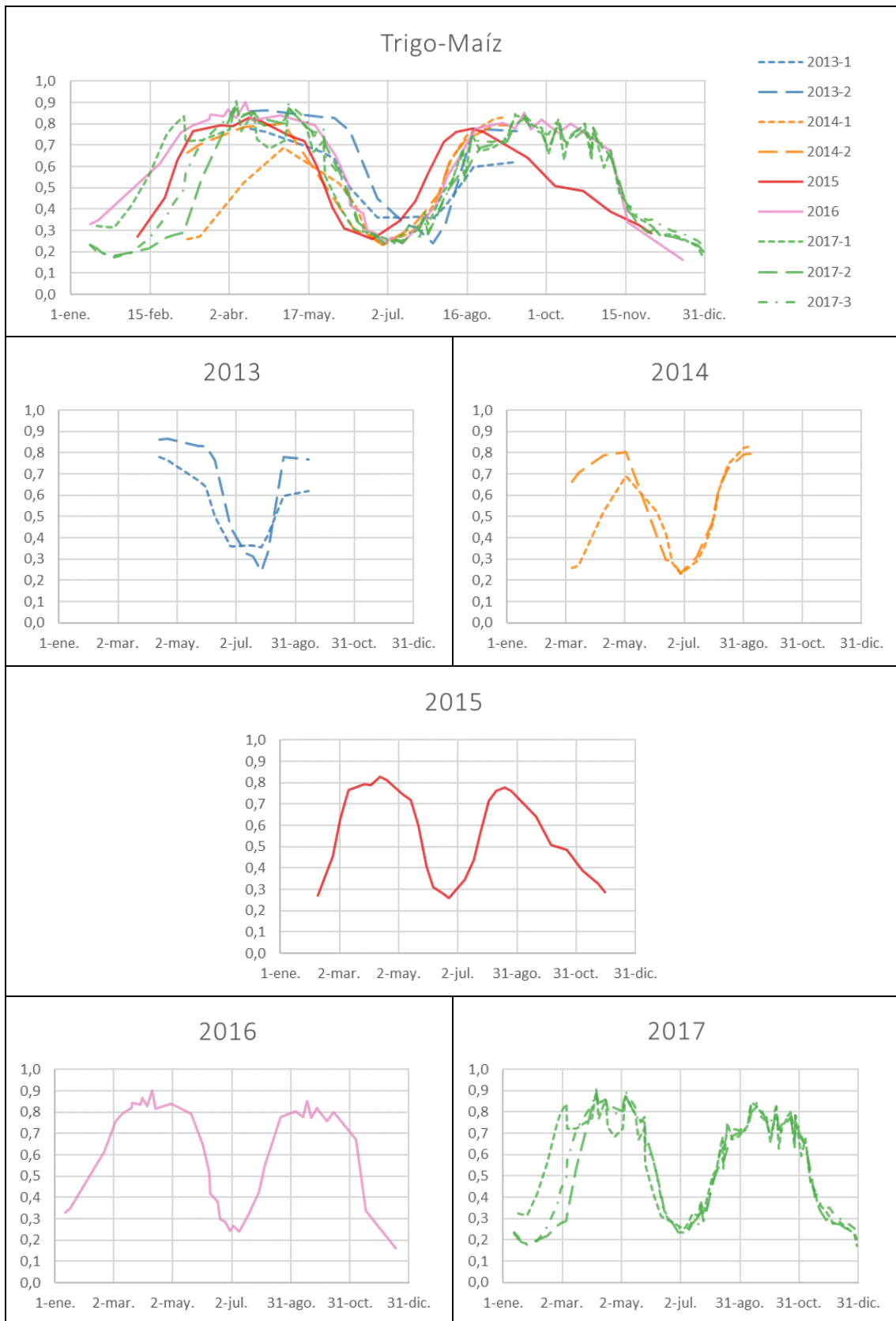


Figura 20. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha trigo-maíz en los años de estudio



Justo después del trigo comienza el ciclo del maíz. En el caso del maíz, el ciclo empieza una semana más tarde que en la combinación cebada-maíz pues el trigo va algo más retrasado que la cebada. Las series 2015 y 2013-1 son diferentes por lo que se comentan independientemente.

La fase de crecimiento del maíz comienza en torno a la segunda semana de julio y dura hasta la tercera semana de agosto. La fase media dura desde la tercera semana de agosto hasta finales de octubre. En el caso del maíz el ciclo va parejo todos los años, menos en los dos años excepcionales citados anteriormente. La final de ciclo va desde finales de octubre hasta finales de diciembre, alargándose dos semanas más que cuando se combina el maíz con la cebada.

En 2015, la fase de madurez del maíz es mucho más corta que el resto. El ciclo concluye como en los otros tipos de fenología. Por tanto, la fase final se alarga mucho. El NDVI de 2013-1 a principios de septiembre es el más bajo de todos. No hay información de fechas posteriores para saber si es por un menor desarrollo del cultivo o por un retraso en el ciclo vegetativo.

#### - Raygras-maíz

Algunas de las parcelas con las que se caracteriza esta doble cosecha presentan en realidad triple cosecha, es decir, en el mismo año la misma parcela presenta tres cultivos diferentes y que en estos casos estudiados (2015-2 y 2017-1) es raygras, maíz y raygras (Figura 21).

Cuando comienza la campaña de riego, el cultivo de raygras ya está en la fase media. En enero y febrero el cultivo se encuentra ya en el final de la fase de crecimiento. La fase media comienza en torno a mediados de enero y principio de febrero y dura hasta primeros de abril que es cuando empieza su fase final. Esta fase concluye hacia mediados de mayo. La última fase del raygras es más corta que en las dobles cosechas que incluyen cebada y trigo, presentando el NDVI un descenso más acusado en menos tiempo, pues se corta en verde para forraje. El NDVI no desciende instantáneamente a valores de suelo desnudo ( $<0,25$ ), hasta que no se recoge el forraje verde de la parcela.

En el caso de 2014 y 2017-1, el cultivo del raygras va más retrasado mientras que en 2013 fue adelantado respecto al resto de años. La cosecha temprana del raygras, permite más margen para la siembra del maíz que se produce antes en otras dobles cosechas.

El cultivo de maíz tiene dos ciclos claramente diferentes, según tenga o no después otro cultivo. Su fase de crecimiento comienza la primera semana de junio y dura hasta la primera o segunda semana de julio. La fase media comienza la primera o segunda semana de julio y dura hasta la cuarta semana de agosto cuando sigue otro cultivo y aproximadamente una semana más si sólo hay dos cosechas, y la fase final se extiende hasta finales de septiembre en los casos que hay raygras después y hasta mediados de octubre en el caso de ser el último cultivo.

Cuando hay un tercer cultivo de raygras, el maíz es forrajero. Es el caso de 2015 y 2017-2. Al recogerse en verde, la curva de NDVI presenta en la fase de final una elevada pendiente.

El cultivo de raygras que sigue al maíz, comienza su ciclo en torno a la tercera semana de septiembre, recién cosechado el maíz. Tiene una etapa de crecimiento hasta finales de octubre semana de octubre. De esta tercera cosecha de raygras, se obtienen peores resultados que de la primera, observándose unos valores de NDVI inferiores que en la primera cosecha. las parcelas con triple cosecha no son lo habitual y suelen darse en explotaciones agro-ganaderas para tener forraje para el ganado.

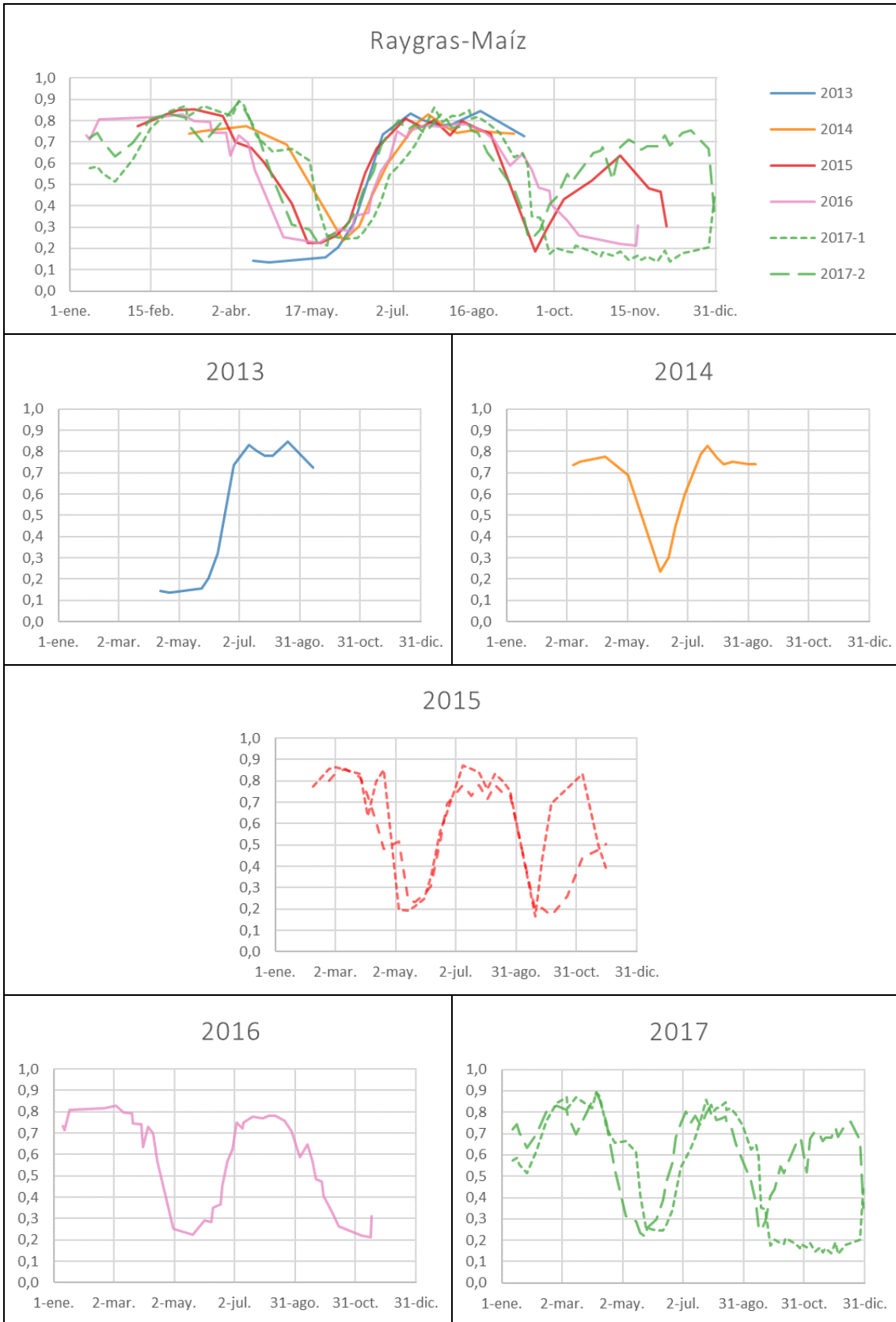


Figura 21. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha raygras-maíz en los años de estudio.

- Guisante-maíz

Por último, se analiza la doble cosecha guisante-maíz (Figura 22).

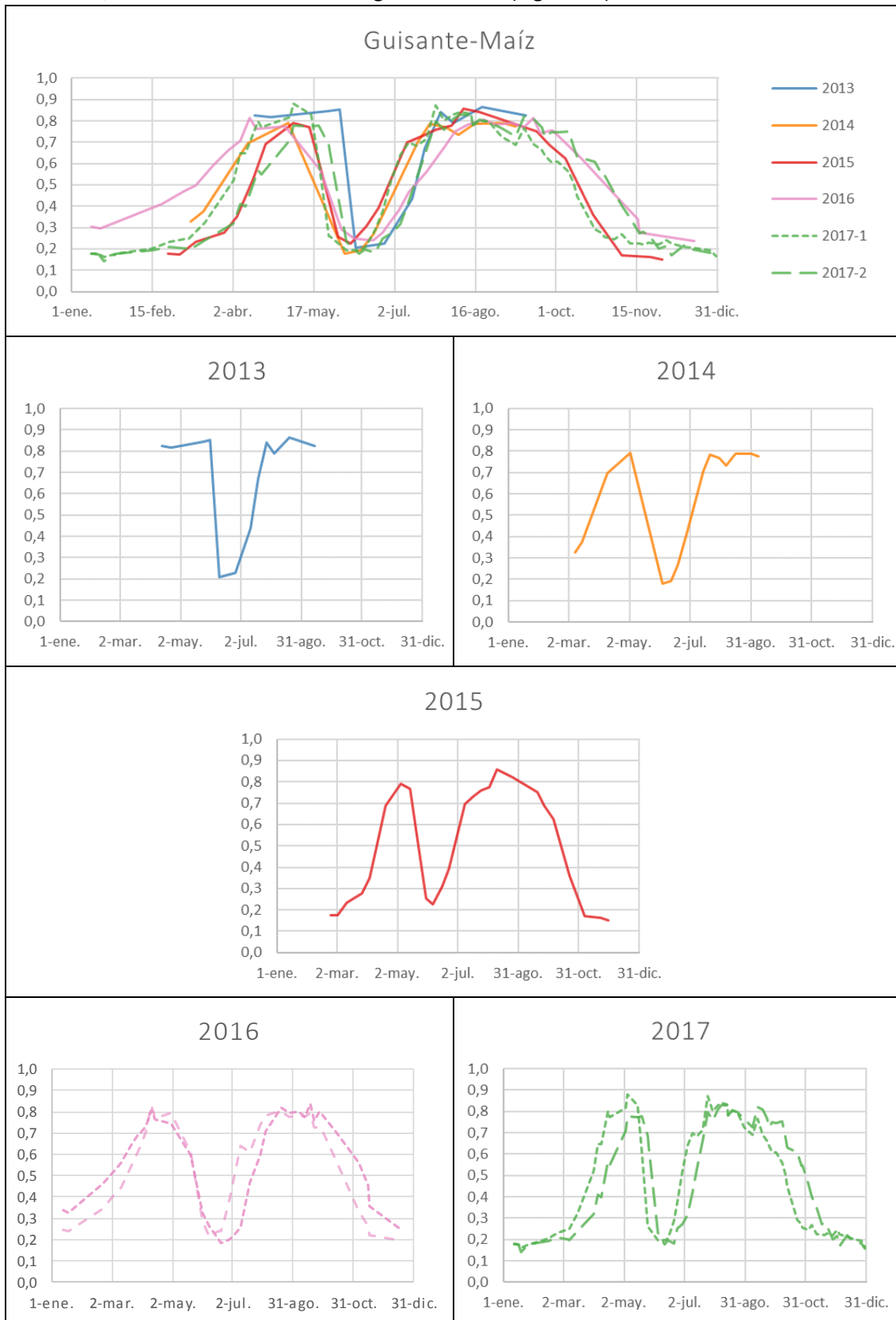


Figura 22. Evolución temporal del NDVI de la doble cosecha guisante-maíz en los años de estudio

En todos los años sigue una tendencia similar. Por lo general, la fase de crecimiento comienza la primera semana de marzo, finalizando a mediados de abril. La fase media dura hasta finales de mayo cuando se cosecha. Al igual que en el raygras, esta última etapa es corta como lo muestra la pendiente de descenso de la curva de NDVI, porque pasa de estar verde a cosechado.

El cultivo de maíz se siembra justo tras el guisante. Aproximadamente veinte días después, hacia finales de junio, comienza su fase de crecimiento, finalizando esta etapa la cuarta semana de julio. La fase media dura desde entonces hasta la tercera semana de septiembre, cuando comienza la fase final que termina la primera quincena de noviembre. Al igual que ocurre en la doble cosecha raygras-maíz, el maíz va más adelantado que en las otras dobles cosechas, ya que el guisante se cosecha antes, aunque no tan pronto como el raygras.

En 2016 el guisante va más adelantado y alcanza antes que otros años el pleno desarrollo y en 2013 va más retrasado.

- Contribuciones a la definición de las etapas fenológicas y necesidades hídricas

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo, es necesario definir una fenología tipo que especifique los límites entre las distintas fases. No es fácil encontrar información sobre las fechas y duración de cada fase fenológica. La información proporcionada por los agricultores, generalmente, ofrece solo datos sobre las fechas de siembra y cosecha. Martínez-Cob (2005) establece las necesidades hídricas de los cultivos en la cuenca del Ebro y da información fenológica sobre los cultivos, información referente en el cálculo de dichas necesidades en la cuenca del Ebro. Pero, señala la necesidad de mejorar la información disponible sobre las etapas fenológicas de los cultivos para mejorar el cálculo de las necesidades hídricas.

Este autor define la fenología de los cultivos en esta zona, pero no consideran las dobles cosechas. Únicamente proporciona información específica sólo para maíz de segunda ocupación. Información fenológica de las dobles cosechas es escasa o no está ajustada para las variedades y manejo que se realiza cuando se hace doble cosecha.

A continuación, se compara la información obtenida en este trabajo con los datos sobre las etapas fenológicas propuestas por Martínez-Cob (2005). Este autor no propone ni el cultivo de girasol de segunda cosecha ni el de raygras, por lo que se comparan gráficamente las dobles cosechas cebada-maíz, guisante-maíz y trigo-maíz (Figura 23).

Tal y como se aprecia en la Figura X, 2016 es el año en el que las curvas de evolución de NDVI se ajustan mejor al modelo propuesto por Martínez-Cob (2005), a partir de ahora denominado como "modelo propuesto". El resto de años, el ciclo de la primera cosecha (curvas evolución NDVI) suele ir más retrasado y ser menos amplio que en el modelo propuesto, mientras que el de la segunda cosecha se ajusta mejor, si bien el ciclo es algo más amplio. Se describan a continuación, año por año, las diferencias observadas.

En la doble cosecha de cebada-maíz, por lo general, se observa que la cebada se retrasa más que en el modelo propuesto durante todo el ciclo, alcanzando más tarde la fase media y acabándola más tarde también. La fase final también acaba más tarde, pero el desfase es menor que en fase media. El cultivo de maíz comienza antes y finaliza más tarde que el del modelo propuesto, es decir el ciclo del cultivo es más largo y por tanto las necesidades hídricas mayores. Se observa que la fase media en las curvas de evolución de NDVI tiene mayor duración que en el modelo, en cambio las otras fases tienen una duración similar.

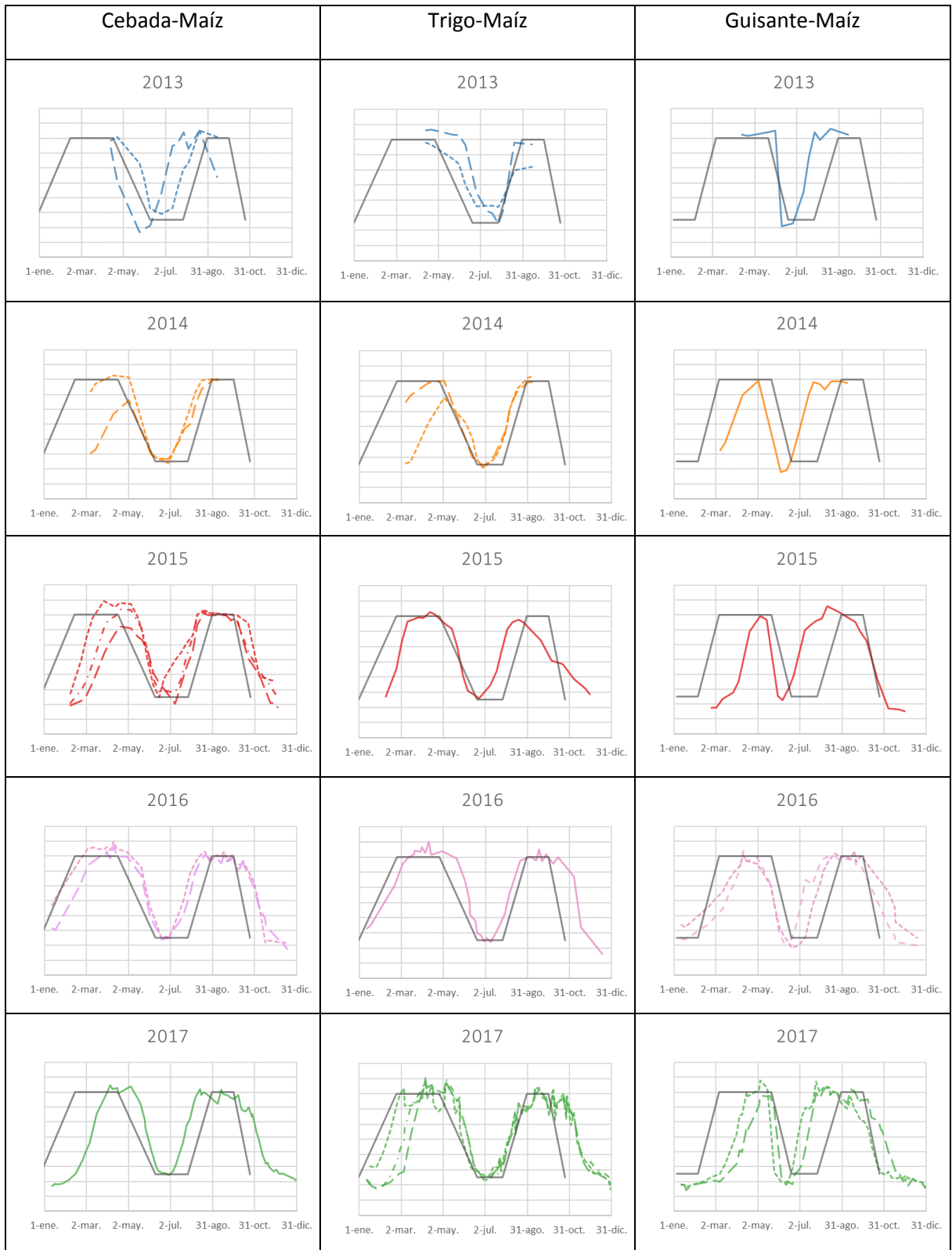


Figura 23. Esquema de las etapas fenológicas de Martínez-Cob (2005), línea gris, superpuestas a las curvas de evolución de NDVI, líneas de color

En el caso de la doble cosecha trigo-maíz la curva de evolución de NDVI se ajusta más al modelo propuesto que la de las otras dobles cosechas. Por lo general, la fase de crecimiento del trigo comienza más tarde que en el modelo propuesto, pero el resto del ciclo, menos en 2013 que la fase final va un poco más atrasada, coincide bastante. En el caso del maíz es bastante similar coincidiendo en la primera mitad y diferenciándose de forma más notable en la parte final del ciclo donde la fase final comienza más tarde.

En el guisante-maíz se observa como el ciclo obtenido es más corto que el propuesto por Martínez-Cob comenzando y finalizando antes, y por tanto con unas necesidades hídricas menores. El maíz comienza un mes antes que en el modelo propuesto y finalizan en casi todos los casos al mismo tiempo.

Las curvas de evolución de NDVI obtenidas, y por tanto la caracterización de la fenología que con ellas se hace, concuerdan con información local sobre manejo de las dobles cosechas obtenida por comunicación personal en la CGRCAYC y de encuestas agricultores en el marco de convenios entre la Confederación Hidrográfica del Ebro y el CITA de 2009-2017 para evaluación del impacto ambiental de las actividades agrarias en sistemas de riego de la Cuenca del Ebro. Esta información indica que, en las dobles cosechas de cebada-maíz, las fechas de siembra de la cebada son principalmente en la segunda quincena de noviembre, aunque se dan algunas a primeros de enero, y la cosecha es entre 10 y 25 de junio. Señalan que el trigo, señalan que suele ir retrasado unos 10 días respecto a la cebada. Para el maíz, las siembras se producen hacia la segunda quincena de junio y la cosecha varía de final de octubre a final de diciembre. El girasol como segunda cosechas tiene las primeras hojas hacia el 10 de julio, alcanza la madurez hacia el 25 de septiembre, y se cosecha a finales de octubre.

Aunque Martínez-Cob (2005) propone fenologías por comarcas, las correspondientes a la zona de estudio son similares variando ligeramente entre una y otra comarca. Los resultados en el trabajo que se presenta, revelan curvas de evolución de NDVI diferentes que permiten diferenciar tipos de fenología dentro de un mismo cultivo y año. Así, conforme a los resultados obtenidos, la fenología del maíz puede caracterizarse generando una única curva de NDVI., aunque se aprecian algunas diferencias de ciclo en la fase de maduración que podrían considerarse, si bien al estar fuera de la época de riegos, es menos relevante. Para girasol dos fenologías diferentes (Figura X). En cuanto a los cultivos de primera cosecha, la variabilidad es mayor que en los cultivos de segunda cosecha, sobre todo durante la fase de desarrollo del cultivo con fechas de Comienzo y duración diferente; y en la fase madurez. Dos curvas de evolución de NDVI e incluso en ocasiones tres serían necesarias para definir las fenologías tipo en estos cultivos

Uno de los inconvenientes que se parecían, es que con las curvas de evolución de NDVI es complicado saber con exactitud el momento de siembra, pues los valores de NDVI son los de suelo desnudo. Hasta que el cultivo no emerge y alcanza cierto desarrollo no se detectan variaciones relevantes en el NDVI. Además, el procedimiento seguido para obtención de curvas tipo, basado en el promedio de los valores de las curvas de evolución de NDVI de las diferentes parcelas elegidas, integra la variabilidad existente suavizando en ocasiones los cambios existentes entre fases con la repercusión que esto conlleva (Figura24). En el futuro, deben investigarse otros procedimientos de obtención de esta curva.

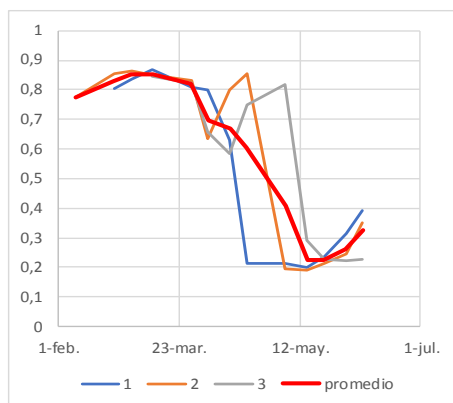


Figura 24. Evolución temporal de series temporales de NDVI en el cultivo de raygras con su valor promedio

#### 4.2.3. Variación espacio temporal de la fenología

No se encuentran diferencias importantes en la fenología causadas por la distribución de las parcelas, ya que como se ha explicado anteriormente están concentradas por la parte central de la zona regable de la CGRCAYC, zona pequeña, y es por eso que la extensión de las superficies donde están queda reducida de manera considerable.

Como se puede apreciar en la Figura 25, para la cual se ha seleccionado una muestra de 4 parcelas con la doble cosecha cebada-girasol distribuidas por la zona de estudio, no se encuentran diferencias relevantes en las curvas de evolución de NDVI entre ellas. La 8 y la 1 son las que se encuentran más lejanas, pero en cambio, en enero tienen valores de NDVI diferentes a las otras 2. Además, la 6 y la 9 tienen niveles muy parecidos de NDVI durante el ciclo de cultivo de la cebada. En cambio, en el girasol la 9 se parece más a la 8.

Esto ocurre en todas las dobles cosechas estudiadas por lo que se considerará que no existen diferencias fenológicas relevantes en la zona regable de la CGRCAYC en cuanto a localización espacial de la doble cosecha. Las diferencias que se dan son debidas a diferentes variedades y manejo.

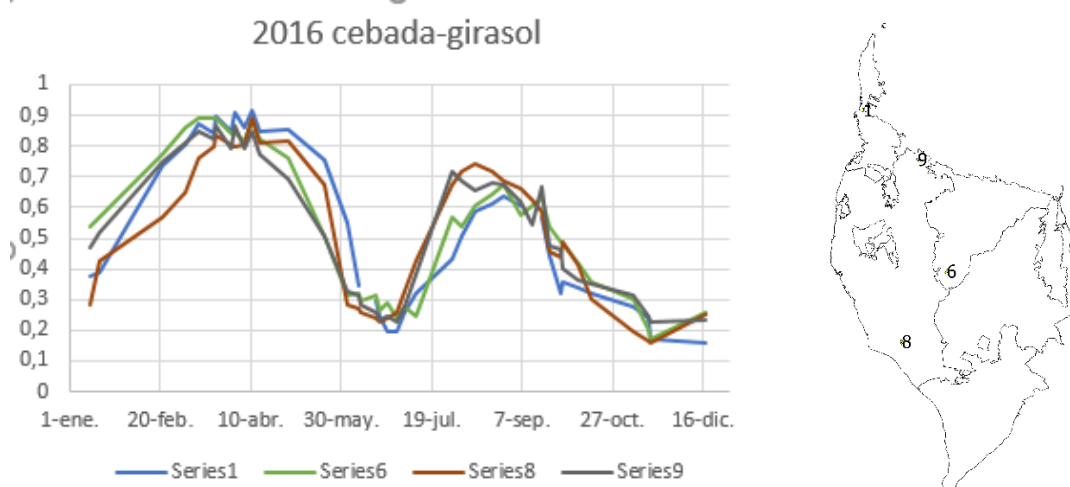


Figura 25. Evolución NDVI en parcelas de doble cosecha cebada-girasol en diferentes localizaciones de la zona de estudio

Como se observa en el las Figuras 18, 19, 20, 21 y 22, sí que existe ciertas diferencias entre los años de estudio. Se observa en todos los cultivos que el año 2016, el primer cultivo comienza su desarrollo antes en todas las dobles cosechas y tiene una duración del ciclo mayor. En cambio, el segundo cultivo no sigue esta tendencia. También se observa que en 2015 el cultivo de maíz va más adelantado que en el resto de años.

### 4.3. Relación entre fenología de dobles cosechas y condiciones meteorológicas

#### 4.3.1. Condiciones meteorológicas

Para conocer las características meteorológicas en la zona en referencia a los años de estudio, se hace uso de la información meteorológica disponible en la red de estaciones agrometeorológicas SIAR (<http://portal.mapama.gob.es/websiar/Inicio.aspx>), la cual analizaremos con detalle, siendo objeto de cuantas conclusiones precisas deriva este apartado. Los datos que aparecen pertenecen a cuatro estaciones distribuidas de norte a sur dentro del perímetro de la zona objeto de estudio, y que son: la CGRCAYC (Figura 26): San Esteban de Litera, Tamarite de Litera, Zaidín y Fraga.

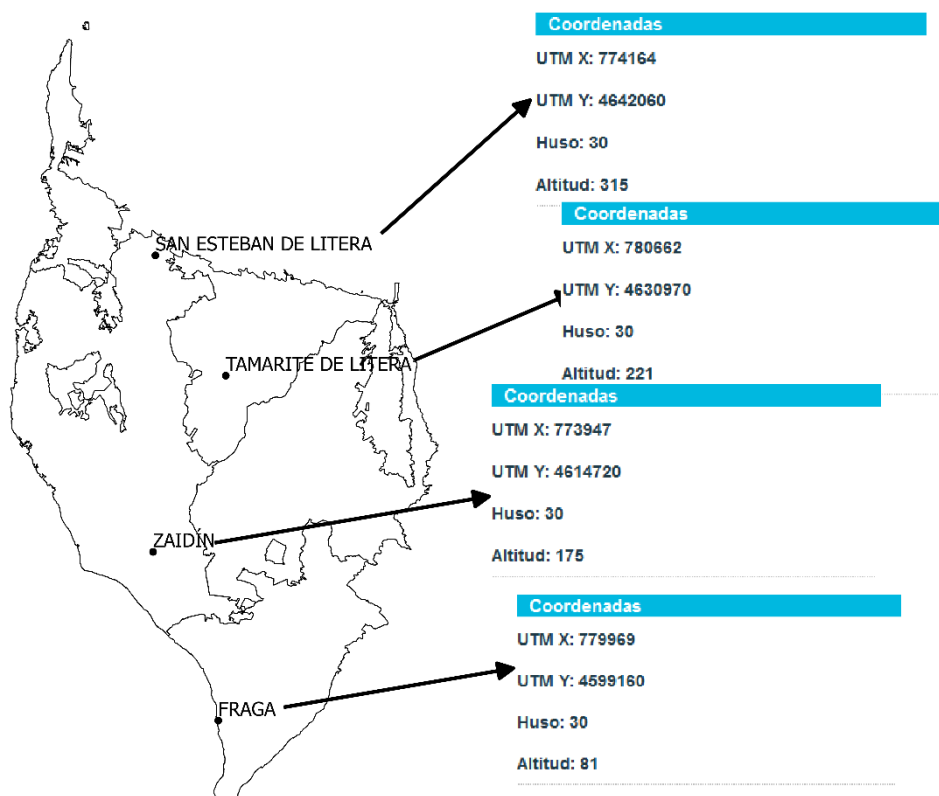


Figura 26. Localización estaciones meteorológicas



- Temperatura

El patrón de temperaturas es similar entre estaciones en los años de estudio. No hay diferencias relevantes de temperatura entre unas estaciones y otras (Figura 3 del Anejo 2). Hay algunas variaciones precisas, aunque poco diferenciadas entre los diferentes años objetos de estudio. En la Figura 27 se muestra como ejemplo la evolución de la Temperatura media en la estación de Zaidín, estación localizada en el centro del área de estudio en la zona donde predomina modelo de gestión con dobles cosechas.

Se observa que de agosto a diciembre la diferencia de temperatura en los diferentes años son menores que entre enero y agosto. También se aprecia una mayor diferencia en grados dentro de la primera mitad de cada año, y es en el período concreto de mediados de abril a mayo donde aparece una mayor amplitud en el rango de temperaturas según puede observarse en las gráficas de temperatura media.

Desde enero a julio/agosto, dependiendo de la evolución del año, las temperaturas aumentan uniformemente, de forma positiva, constante y lineal, no apreciándose descensos bruscos de temperatura y repitiéndose esta característica a la inversa hasta final de año, no apreciándose cambios singulares en la trayectoria en los descensos paulatinos de temperatura hasta final de año.

Por todo lo anterior y observando las gráficas de temperaturas medias (Figura 27 y Figura 3 del Anejo 2), podemos llegar a la conclusión de que se aprecian dos tipos de curvas de evolución diferenciadas en el punto de inflexión, coincidentes y correspondiendo a los años 2013, 2015 y 2016 que se asemejan a una marcada "v" invertida siendo 2015 el año con en punto de inflexión con un mayor rango de temperatura media y pendiente más pronunciada, siguiéndole 2016 y 2013. Sin embargo, durante el mismo periodo, pero en los años 2013 y 2017, la temperatura media durante los meses de junio y julio no sufrió incrementos positivos ni negativos, manteniéndose la temperatura estable entre valores aproximados, lo que dibuja la gráfica unas líneas próximas a la horizontal.

También se observa que durante los meses de junio, julio y agosto las temperaturas varían poco en los años 2014 y 2017, mientras que, en 2013, 2015 ascienden notablemente de junio a julio descendiendo de julio agosto. En 2016 este ascenso y descenso también ocurre, pero de manera más suave.

En el año 2013 es el de menor temperatura hasta el mes de julio. En 2015 el mes de noviembre es más frío que el resto. En 2015 y 2017 los meses de mayo y junio son mucho más calurosos que en 2013.

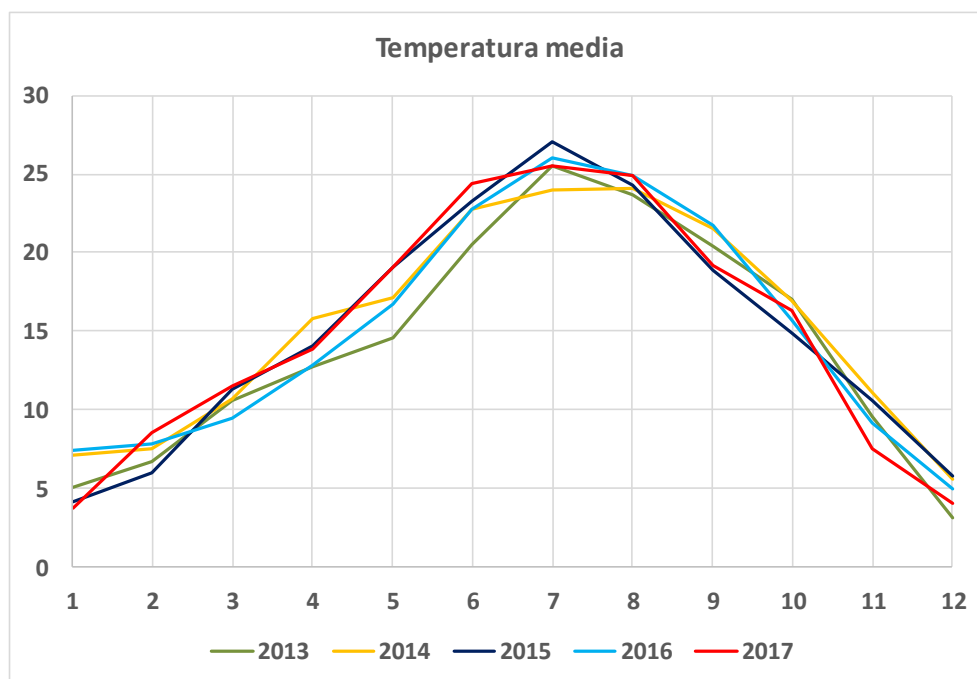


Figura 27. Comparación de la evolución mensual de la temperatura (°C) media en la estación de Zaidín en los años 2013 a 2017

- Precipitaciones

Las tierras de esta zona se encuentran entre las isoyetas de 300 mm y 400 mm anuales. La estación de San Esteban de Litera, situada más al norte, es la que registra mayor pluviometría anual, con mayor número de días de lluvia al año y valores superiores de agua precipitada todos los años, a excepción de 2015 con 315 mm (Tabla 7). Esta pluviometría desciende conforme las estaciones se localizan más al sur. Tamarite de Litera, presenta pluviometrías menores que San Esteban de Litera, pero algo mayores que Zaidín. La estación de Fraga tiene un comportamiento irregular. Registra las precipitaciones más bajas en 2015 y 2017, pero en 2013 y 2016 los registros son mayores que en Tamarite de Litera y Zaidín.

El año 2015 es claramente el que menor precipitación registran todas las estaciones. Solo San Esteban de Litera supera los 300mm mientras que Fraga se queda en 219mm. Los años más lluviosos son 2014 y 2016.

Tabla 7. Precipitación anual en mm en la zona regable del CGRCAyC

Estación meteorológica	2013	2014	2015	2016	2017
San Esteban de Litera	419	531	315	463	451
Tamarite de Lietra	339	477	283	395	369
Zaidín	309	333	255	333	340
Fraga	345	382	219	437	220

En la Figura 2 del Anejo 2 se puede ver la evolución de la precipitación mensual a lo largo de año. Destaca la escasa precipitación en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2013 y en los meses de junio, julio y agosto en el año 2016. También la primavera más lluviosa de 2016 y las destacadas precipitaciones en marzo de 2017.

- Viento

Durante todos los años estudiados se aprecia una tendencia similar, siendo el mes más ventoso febrero, y el menos ventoso diciembre como se observa en la Figura 28. También se observan diferencias entre las diferentes estaciones, apreciándose que Zaidín está más expuesto al viento y que en el resto de las estaciones las diferencias son menos significantes. En San Esteban de Litera, está en la segunda posición en lo que a velocidad de viento se refiere, durante todos los años hasta junio igualándose posteriormente con Tamarite de Litera y Fraga.

A su vez, Tamarite de Litera y Fraga, mantienen valores de viento bajos durante todo el año y aunque existe una disminución de la velocidad de éste a lo largo del año, es más suave que en Zaidín y San Esteban de Litera. Diciembre es el mes menos ventoso todos los años.

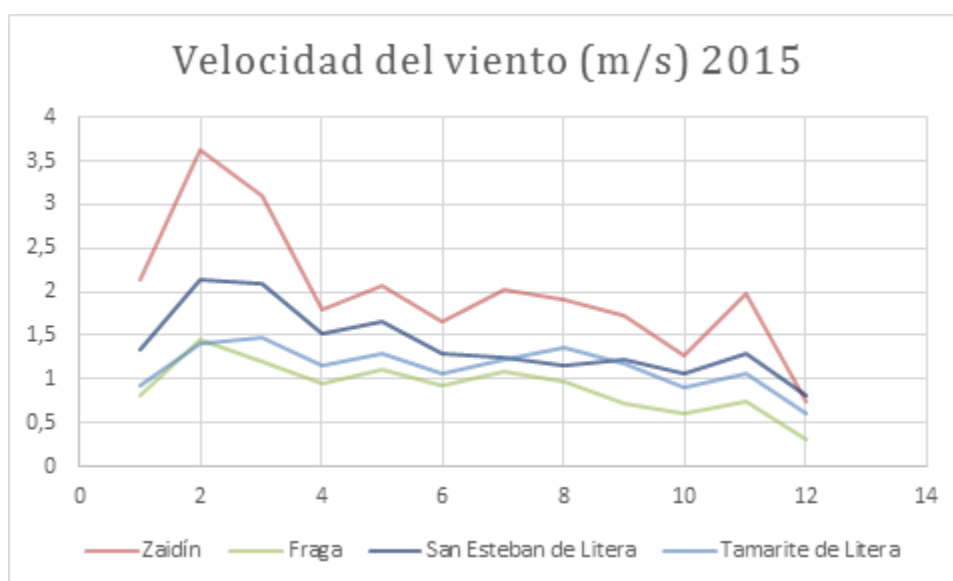


Figura 28. Muestra representativa de la velocidad media mensual del viento en diferentes estaciones de la CGRCAyC

- Evapotranspiración

Como se observa en la Tabla 8 en la evapotranspiración, además de la temperatura, el viento es un factor que tiene gran importancia. Zaidín, es la zona más ventosa y tiene más evapotranspiración que el resto en todos los años. San Esteban de Litera, que es la segunda estación más ventosa, también se observa que es la que más evapotranspiración tiene después de Zaidín.

Tabla 8. Evapotranspiración de referencia anual en mm en la zona regable del CGRCAyC

Estación meteorológica	2013	2014	2015	2016	2017
San Esteban de Litera	1079	1108	1111	1056	1163
Tamarite de Lietra	1007	1054	1019	1021	1029
Zaidín	1173	1219	1236	1225	1278
Fraga	1054	1071	1098	1066	1108

La temperatura es el factor que más afecta en la evapotranspiración. La evapotranspiración, aumenta de forma lineal desde enero hasta julio que es donde alcanza su valor máximo y en julio desciende también de forma lineal hasta diciembre que es donde tiene el valor mínimo (Figura 29).

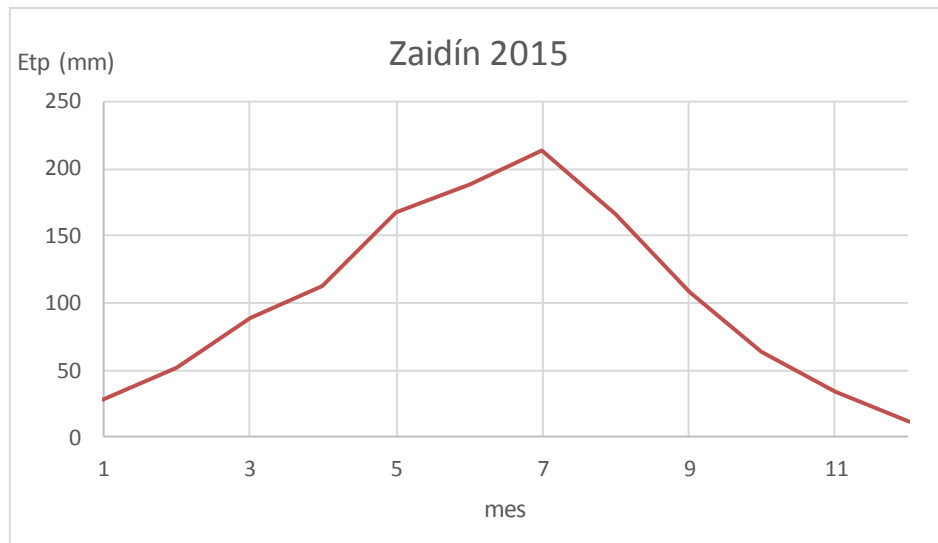


Figura 29. Evapotranspiración mensual en la en la zona regable del CGRCAYC

La relación Precipitación/Evapotranspiración  $P_{enman}$ , propuesto por la UNESCO en 1979 para clasificar zonas áridas, disminuye en la CGRCAYC de norte a sur todos los años, excepto para la zona de Fraga (Figura 30) donde en los años 2013, 2014 y 2016 supera a Zaidín, e incluso Tamarite de Litera en 2016. En la estación de Zaidín es en la que la relación precipitación/evapotranspiración menos varía entre años.

El año 2015 es el más árido en todas las estaciones variando la relación entre aproximadamente 0,2, límite por debajo del cual se considera una zona árida, y no superando 0,3. En 2017 la estación de Fraga también presenta valor de 0,2. En el resto de los años la relación varía más, oscilando los valores entre 0,27 y 0,48 indicativos de que se trata de una zona semiárida.

2014 y 2016 son los años menos áridos.

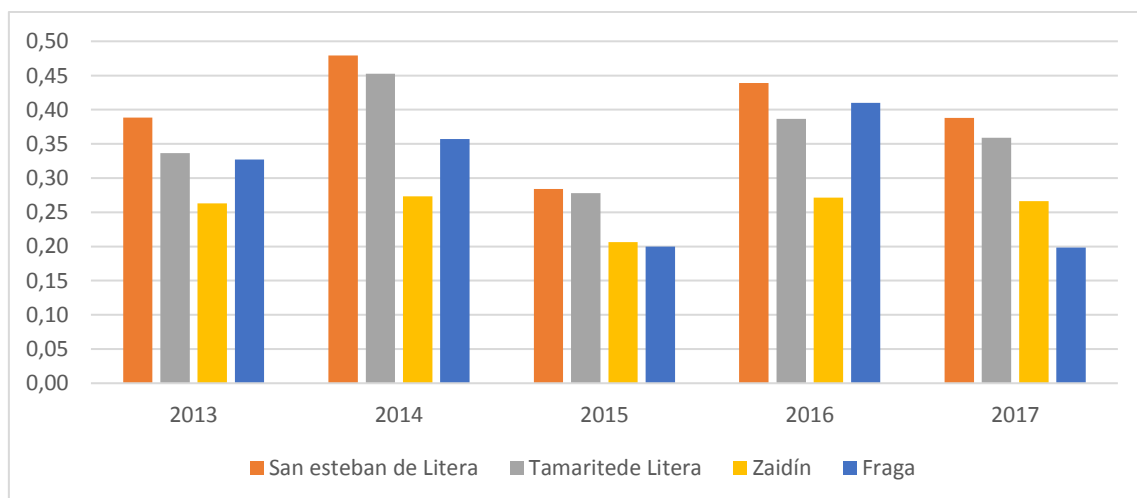


Figura 30. Relación entre Precipitación /Evapotranspiración

#### 4.3.2. Efecto de las condiciones meteorológicas en la fenología de las dobles cosechas

En este apartado se estudia la relación entre las variaciones de la meteorología y las diferencias en el desarrollo del cultivo. Conocer esto es importante para observar a que se deben los cambios en la fenología en estos años y así poder obtener un modelo que permita ajustar mejor las necesidades hídricas anualmente.

El agua es clave para el desarrollo del cultivo. A pesar de las diferencias meteorológicas entre años y estaciones señaladas, no se aprecian en general cambios significantes en el desarrollo del cultivo. El riego permite suministrar agua a los cultivos cuando estos la necesitan y cubrir las deficiencias hídricas en la zona regable, menos cuando los pantanos están con un nivel bajo de agua. Se solventa así esta carencia en épocas de sequía. Por ejemplo, en el verano del 2016 (Figura 2 del Anejo 3) que es menos lluvioso en todos los años, no se aprecian diferencias en el desarrollo del cultivo (fase de crecimiento) comparando con otros años en los que se observan condiciones meteorológicas diferentes. El cultivo de segunda cosecha se desarrolla bien como lo indican los valores de NDVI alcanzados, similares a los de otros años.

El viento puede ser un problema para la nascencia del cultivo si se dan temperaturas elevadas pues favorece la evapotranspiración y se encostra el suelo (sellado). Los agricultores con el riego manejan estas situaciones que no causan graves problemas de nascencia.

La temperatura es la variable más importante en la fenología de los cultivos ya que su crecimiento está asociado a los grados día. Los grados día es la acumulación de temperatura que necesita el cultivo para completar su ciclo y esto va asociado a las diferentes fases. La precipitación y la evapotranspiración se pueden compensar como sea indicado con el riego, pero difícilmente la temperatura.

En 2015 se produce un ascenso más rápido de la temperatura, las temperaturas son de las más altas de todos los años durante la época de desarrollo de los dos cultivos, y se alcanzan los valores más altos de temperatura de todos los años. Este comportamiento de la temperatura se refleja en que la fase final del primer cultivo se produce antes que en el resto de los años y la fase de crecimiento del segundo cultivo comienza antes (Figura 27, y Figura 3 del Anejo 2).

En 2016, se observa un descenso brusco de las temperaturas en otoño lo que causa que el ciclo del segundo cultivo se alargue más y provoca que el primer cultivo de 2017 se retrase más. Aunque en enero febrero las temperaturas son altas, en marzo y abril son de las más bajas. NO hay ascenso de las temperaturas mínimas entre abril y mayo ni de las máximas entre marzo a abril (Figura 3 del Anejo 2). Todo esto hace que el ciclo se alargue en las primeras cosechas de cebada, trigo y guisante. En raygras, los meses de invierno más cálidos favorece su desarrollo y adelanta del ciclo respecto a otros años.

En 2017 las temperaturas en junio son más altas que en el resto de los años, y se mantienen también de las más altas en julio y agosto (Figuras 27). Esto favorece el desarrollo vegetativo. Estas temperaturas provoca que en la segunda cosecha la fase final comienza un poco antes, tal y como puede verse en el raygras-maíz (Figura 21), guisante-maíz (Figura 22) y cebada girasol (Figura 19). Esto se debe a que el cultivo llegará a la fase final del ciclo más temprano porque tiene más grados día acumulados.

Para los años 2013 y 2014, no se tienen tantas imágenes y fechas, y es más complicado establecer relaciones con la temperatura. Hasta julio, 2013 es el año más frío con temperaturas por debajo de lo habitual en mayo. Esto se nota en el retraso de los cultivos de invierno. En

2014 las temperaturas mínimas apenas varían de abril a mayo. Esto afecta al desarrollo de las cebadas más tardías del trigo que es menor (valores de NDVI más bajos) y al comienzo con retraso de la fase final tanto de estos cultivos como del raygras y guisante.

Sería necesario un estudio de evolución de grados día y su relación con las curvas NDVI para poder obtener una relación más directa de la temperatura con las fases fenológicas de los cultivos y su desarrollo vegetativo.

## 4. CONCLUSIONES

Las dobles cosechas cada año tienen más presencia en la zona regable de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC). Ante la escasez de información sobre su fenología, clave para determinar sus necesidades hídricas y optimizar el manejo del agua durante la campaña agrícola, se planteó este trabajo cuyas conclusiones se presentan a continuación.

- Las cinco dobles cosechas más representativas en la zona regable de la CGRCAYC son cebada-maíz, cebada-girasol, trigo blando-maíz, raygras-maíz y guisante-maíz y se concentran mayoritariamente en los fielatos de Zaidín, Tamarite de Litera y Raimat.

Estas combinaciones representan más del 80% del total de la superficie ocupada por dobles cosechas en 2016 y 2017. Cebada-maíz representa más de la mitad de la superficie con doble cosecha en los años 2016 y 2017. El resto de dobles cosechas ocupan cada una más del 4% de dicha superficie.

- Las curvas de evolución del índice de vegetación NDVI obtenidas con imágenes de los satélites Landsat 8 y Sentinel 2 para los años 2013 a 2017 en la CGRCAYC son útiles para la caracterización fenológica de las dobles cosechas durante la campaña de riego. Proporcionan información actual sobre la evolución del desarrollo vegetativo del cultivo y permiten distinguir las diferentes etapas fenológicas, momento y duración de las mismas. Sin embargo, determinar la fecha concreta de siembra a partir estas curvas es complicado.

- En general, la mayor diferencia en las curvas de evolución de NDVI, y por tanto fenológica, de una misma doble cosecha se da en las primeras etapas de los cultivos de primera ocupación. En las segundas ocupaciones se observan menos diferencias, siendo las curvas de evolución de NDVI más homogéneas. Las diferencias en el ciclo vegetativo observadas se atribuyen a distintas variedades y manejo, y suelen igualarse al final del cultivo.

Para una misma doble cosecha y año se detectan curvas de evolución de NDVI diferentes y por tanto la posibilidad de considerar más de una fenología tipo para el cálculo de las necesidades hídricas.

- Las diferencias fenológicas entre parcelas dentro de la zona regable no son relevantes en los años de estudio, en cambio, las curvas de evolución de NDVI muestran ciertas diferencias fenológicas entre años que se asocian a los periodos en los que las temperaturas presentan más fluctuación de un año a otro.

- Las etapas fenológicas distinguidas con las curvas tipo de evolución de NDVI obtenidas en este trabajo para cebada-maíz, trigo-maíz y guisante-maíz, no se ajustan del todo a las propuestas para la zona de estudio por Martínez-Cob (2005) (referente para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en la Cuenca del Ebro). Las primeras ocupaciones de las dobles cosechas van algo más retrasadas que en la propuesta de este autor y su ciclo es de menor duración. Además, el ciclo del maíz, aunque más parecido, presenta mayor amplitud.

- Las curvas tipo obtenidas en este trabajo proporcionan información sobre la fenología de algunos cultivos no considerados en la mencionada propuesta, como raygras y girasol de segunda ocupación. Además, contribuyen a mejorar la determinación de las necesidades

hídricas de las dobles cosechas al ampliar la información relativa a las etapas fenológicas hasta ahora disponible.

El trabajo presentado es un estudio preliminar. La caracterización fenológica de las dobles cosechas realizada se podría mejorar en el futuro completando el estudio con series temporales de índices de vegetación más densas y de más parcelas, escasas actualmente para algunas dobles cosechas y años. También se sugiere probar otras alternativas metodológicas diferentes para la obtención de las curvas tipo que definen las fenologías, y abordar aproximaciones metodológicas para la identificación de las fechas concretas en las que comienza y finaliza cada fase fenológica.



## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. F. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Org.
- Alonso, F. G. (1981). Técnicas de tratamiento de datos en teledetección (No. 28). INIA.
- Ascaso, A., & Cuadrat, J. M. (1981). El clima. *Geografía de Aragón*, 1, 93-140.
- Calera A., Jochum A.M., Cuesta A., Montoro A., y López-Fuster p. (2005). Irrigation management from space: Towards user-friendly products. *Irrigation and Drainage System*, 19:337-354.
- Calera, A., Campos, I., & Garrido, J. (2014). Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. CENTER (Ed.), *JORNADAS TÉCNICAS: Innovación en gestión de regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información*, San Fernando de Henares (23/September/2014).
- Casterad Seral, M. A., Gómez Báguena, R., & Portero Callejero, C. I. (2014). 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 2014. Memoria.
- Casterad Seral, M. A., Gómez Báguena, R., & Portero Callejero, C. I. (2016). Aplicación de la teledetección por satélite en la gestión del agua del Canal de Aragón y Cataluña en 2016. Memoria.
- CAyC- Canal de Aragón y Cataluña (cayc.es)
- Casterad Seral, M. A., Portero Callejero, C. I., & Quintilla, R., (2014). Apoyo a la gestión del agua en alta en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña con teledetección.
- CENTER (Ed.), *JORNADAS TÉCNICAS: Innovación en gestión de regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información*, San Fernando de Henares (23/September/2014).
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental (Primera Edición en presentación actualizada.)*. España: Editorial Ariel.
- Cuesta A., Montoro A., Jochum A.M., López P. y Calera A. (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA*, 101(3):212-224.
- Fernández, S., & Rio, J. (2011). *Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento territorial*. La Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- GIS Geography. (2018). Polar Orbit vs Sun Synchronous Orbit - GIS Geography. [online] Available at: <https://gisgeography.com/polar-orbit-sun-synchronous-orbit/> [Accessed 31 Jul. 2018].

IAEST –Instituto Aragonés de Estadística ([www.aragon.es/iaest](http://www.aragon.es/iaest))

Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio. La Laguna, Spain.

MARTÍNEZ-COB, A. (2005). Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la Cuenca del Ebro. Informe del Trabajo de consultoría y asistencia - Convenio Colaboración CSIC-CHE (Ref: 2004-PH-12.I). Memoria 111pp + Anejos.

Mateu González, J. J. (2015). El canal de Aragón y Cataluña: gestación, construcción y puesta en explotación (1782-1940) (Doctoral dissertation, Universitat de Lleida).

Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. *Revista Ecosistemas*, 17(3).

Radio Huesca (2018, junio,28), En información pública la optimización energética del pantano de San Salvador, Cadena Ser

Rivera, C., Mattar, C., & Durán-Alarcón, C. (2017, December). Tendencia de la cobertura vegetal afectada por incendios en el Parque Nacional Torres del Paine. In *Revista de Teledetección* (No. 50, pp. 71-87). Universitat Politècnica de València.

Rojo Bonastre, A. (2017). Adecuación y puesta en producción de la descarga automática de imágenes Sentinel en el entorno tecnológico de Gobierno de Navarra.

Quintilla Blanco, R. (2014). Informe estado de la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña

Tullot, I. F. (2000). *Climatología de España y Portugal* (Vol. 76). Universidad de Salamanca.

ZAPATER, I (1992)., *El Bajo Cinca*, ed. Mira, Zaragoza, 1992.

# ANEJOS

**ANEJO 1**  
**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS**

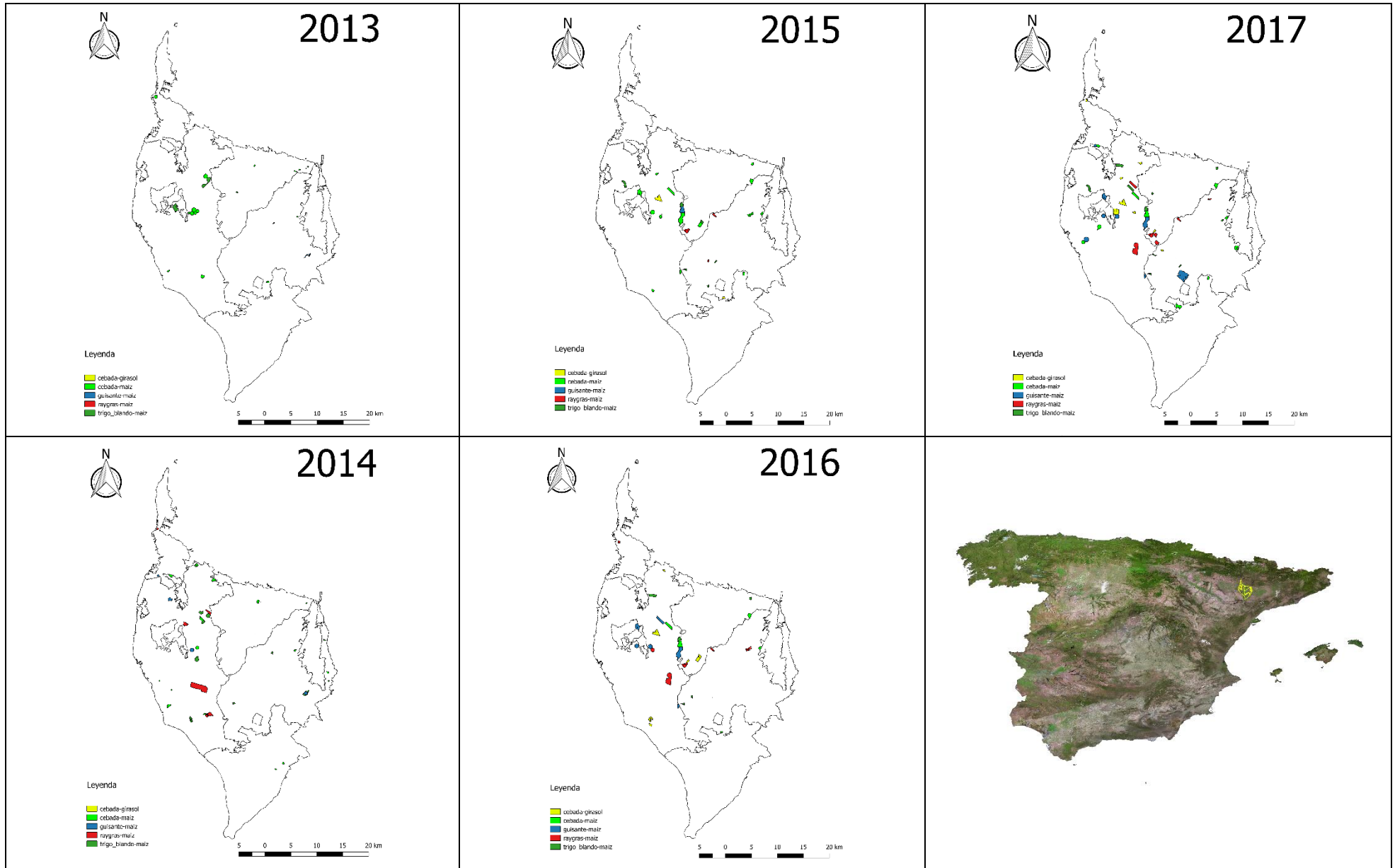
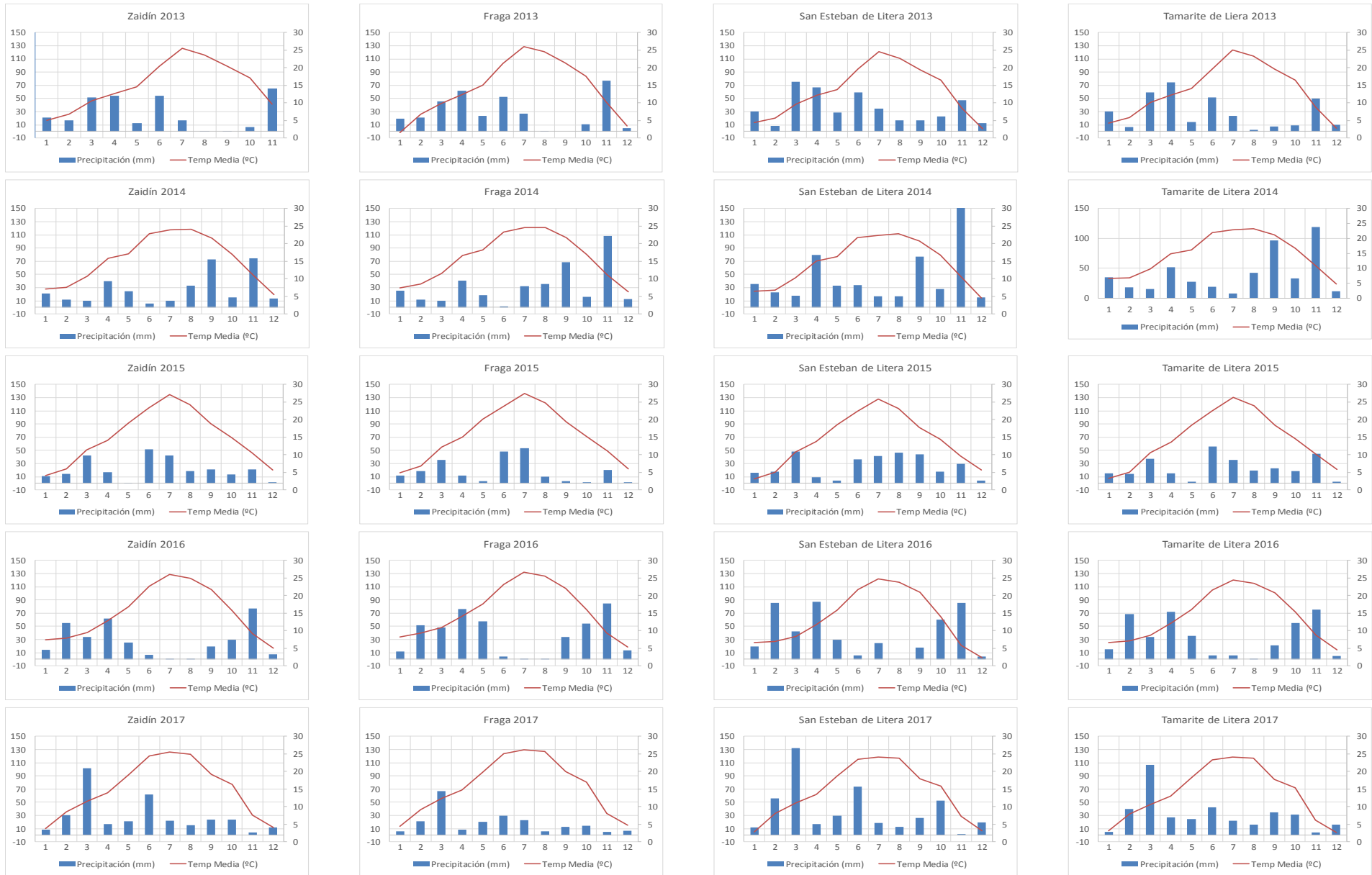


Figura 1. Distribución en la CGRCAyC de los recintos elegidos definitivamente cada año de estudio

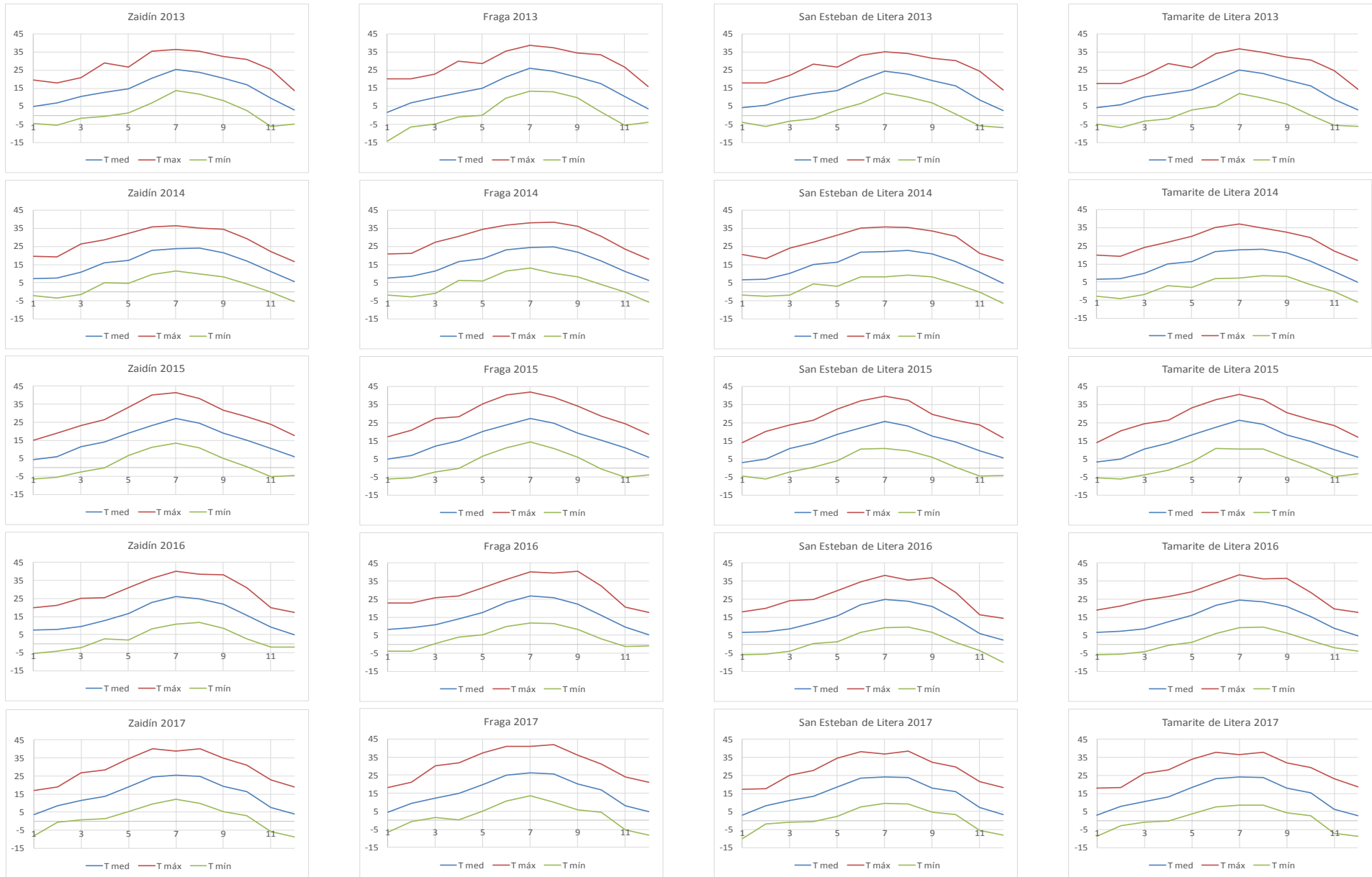
# ANEJO 2

## DATOS METEOROLÓGICOS



\* El eje vertical de la izquierda muestra la precipitación mensual (mm) y el eje vertical de la derecha muestra la temperatura (°C)

Figura 2 Diagramas ombrotérmicos



\* El eje vertical muestra las temperaturas (°C) y el horizontal representa los meses del año

Figura 3. Gráficos de evolución de las temperaturas



