



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, PESCA  
Y ALIMENTACIÓN



# INFORME FINAL DEL PROYECTO ESPACIO SiAR AÑO 2019



**DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES  
HÍDRICAS EN EL REGADÍO ESPAÑOL MEDIANTE  
HERRAMIENTAS BASADAS EN EL SiAR, LA  
TELEDETECCIÓN Y LOS SIG**

**MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL, INNOVACIÓN Y  
FORMACIÓN AGROALIMENTARIA  
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE REGADÍOS, CAMINOS NATURALES E  
INFRAESTRUCTURAS RURALES**



# **DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS EN EL REGADÍO ESPAÑOL MEDIANTE HERRAMIENTAS BASADAS EN EL SiAR, LA TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AÑO 2019**

Informe final  
Madrid, Septiembre de 2020



# ÍNDICE

## MEMORIA RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>2. INTEGRACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y DEL SiAR PARA EL SEGUIMIENTO CONTINUO DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS</b>	<b>2</b>
2.1. <i>PROCESADO DE IMÁGENES DE SATÉLITE MULTIESPECTRALES</i> .....	4
2.2. <i>CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS EN REGADÍO</i> .....	5
2.3. <i>BALANCE DE AGUA EN EL SUELO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y EL SiAR</i> .....	6
2.4. <i>DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN</i> .....	8
<b>3. RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS</b>	<b>9</b>
3.1. <i>RESULTADOS DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS</i> .....	10
3.2. <i>RESULTADOS DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS ESTIMADAS</i> .....	13
<b>4. ACCESO A LAS SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS PRODUCTOS</b>	<b>16</b>
4.1. <i>SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE</i> .....	16
4.2. <i>USOS DEL SUELO</i> .....	16
4.3. <i>MAPAS TEMÁTICOS DE VARIABLES Y BALANCE DE AGUA EN SUELO</i> .....	17
4.4. <i>CARTOGRAFÍA AUXILIAR</i> .....	17
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>18</b>

## MATERIALES, MÉTODOS Y RESULTADOS

19

<b>1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA EL REGADÍO (SIAR) Y EL PROYECTO ESPACIO SIAR</b>	<b>21</b>
<b>2. METODOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS BÁSICOS</b>	<b>22</b>
2.1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DEL PROCESADO .....	22
2.2. DIMENSIÓN DEL PROCESADO, ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL .....	23
2.3. IMÁGENES EMPLEADAS .....	24
2.4. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES .....	25
2.5. CORRECCIONES .....	26
2.6. PROCESADO DE LA MÁSCARA DE NUBES / SOMBRA .....	27
2.6.1. SENTINEL 2 .....	27
2.6.1.1 CLASIFICACIÓN DE LA ESCENA: MÓDULO Sen2Cor .....	27
2.6.1.2 CLASIFICACIÓN DE LA ESCENA: MÓDULO Sen2Cloudless .....	29
2.6.1.3 SELECCIÓN DE CATEGORÍAS Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁSCARA DE NUBES Y SOMBRA (MSN) .....	29
2.6.1.4 APLICACIÓN DE LA MÁSCARA AL NDVI: CONSTRUCCIÓN DEL NDVI LIBRE DE NUBES Y SOMBRA .....	30
2.7. PROCESADO DE NDVI .....	31
2.8. PROCESADO DE RGB .....	31
2.9. PROCESADO DE IMÁGENES COEFICIENTE BASAL DE CULTIVO (Kcb) .....	32
2.10. INTEGRACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO .....	32
2.10.1. CONSTRUCCIÓN DEL DATACUBE .....	33
2.11. DETALLE DE LAS IMÁGENES PROCESADAS EN FECHAS Y PRODUCTOS .....	34
<b>3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EN EL PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO MEDIANTE RECURSOS DE TELDETECCIÓN Y APOYO CARTOGRÁFICO</b>	<b>35</b>
3.1. ESQUEMA GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN .....	35
3.2. MATERIAL EMPLEADO EN LA CLASIFICACIÓN .....	36
3.3. MATERIAL EMPLEADO EN LA OBTENCIÓN DE LAS DIFERENTES CLASES .....	36
3.4. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA POR ÁRBOLES DE DECISIÓN .....	38
3.5. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE EVOLUCIÓN DE NDVI PARA DIFERENTES USOS DEL SUELO .....	39

3.6. INCORPORACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DISPONIBLE .....	42
3.7. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO EN REGADÍO.....	43
<b>4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y METODOLÓGICAS EN EL PROCESO DE SIMULACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DIARIAS.</b>	<b>46</b>
4.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MODELO EMPLEADO.....	46
4.1.1. <i>El modelo FAO-56 de coeficiente dual.</i> .....	46
4.1.2. <i>Asimilación del coeficiente de cultivo basado en reflectividad.</i> .....	46
4.1.3. <i>Cultivos en condiciones no estándar. Balance de agua en la capa de suelo.</i> .....	47
4.1.4. <i>Componentes del balance de agua en el suelo: las necesidades de agua de riego.....</i>	48
4.2. MATERIAL DE ENTRADA .....	50
4.3. RESULTADOS DE NECESIDADES HÍDRICAS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS....	52
4.4. INTEGRACIÓN DE LA RED SiAR EN LA ESTIMACIÓN DIARIA DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS.....	54
<b>5. CONTROL DE CALIDAD SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>55</b>
5.1. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LOS VALORES DE NDVI.....	55
5.2. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LAS CAPAS DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.....	55
5.3. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LAS CAPAS DE NECESIDADES HÍDRICAS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO .....	55
<b>6. ACCESO A LAS SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS PRODUCTOS</b>	<b>56</b>
6.1. SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE. ....	56
6.2. USOS DEL SUELO.....	57
6.3. MAPAS TEMÁTICOS DE VARIABLES Y BALANCE DE AGUA EN SUELO. ....	58
6.4. CARTOGRAFÍA AUXILIAR.....	59
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>61</b>

## **ANEXO I. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EMPLEADAS EN EL PROYECTO ESPACIO SIAR 2019**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> ALCANCE DE LOS PRODUCTOS Y SERVICIOS GENERADOS POR ESPACIO SiAR .....	4
<b>TABLA 2.</b> LEYENDA DE USOS DE SUELO EN REGADÍO CLASIFICADOS POR EL PROYECTO ESPACIO SiAR .....	6
<b>TABLA 3.</b> SUPERFICIE REGADA (HA) POR USOS Y DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS EN EL AÑO 2019.....	11
<b>TABLA 4.</b> SUPERFICIE REGADA (HA) POR USOS Y COMUNIDADES AUTÓNOMAS EN 2019 .....	12
<b>TABLA 5.</b> VOLUMEN NETO ANUAL DE RIEGO (HM <sup>3</sup> /AÑO) POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS EN EL AÑO 2019.	13
<b>TABLA 6.</b> VOLUMEN DE RIEGO NETO MENSUAL (HM <sup>3</sup> /MES) EN DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA, 2019.....	14
<b>TABLA 7.</b> VOLUMEN DE RIEGO NETO MENSUAL (HM <sup>3</sup> /MES) POR COMUNIDAD AUTÓNOMA, 2019.....	15
<b>TABLA 8.</b> DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SATÉLITES EMPLEADOS. .....	24
<b>TABLA 9.</b> RESUMEN DE LAS IMÁGENES PROCESADAS.....	35
<b>TABLA 10.</b> USOS DEL SUELO CLASIFICADOS ASÍ COMO SU LEYENDA Y DESCRIPCIÓN.....	37
<b>TABLA 11.</b> METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS DIFERENTES CLASES.....	37
<b>TABLA 12.</b> USOS SIGPAC PARA LA CLASIFICACIÓN. .....	42
<b>TABLA 13.</b> CODIFICACIÓN DE LOS FICHEROS DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO ENTREGADOS.....	43
<b>TABLA 14.</b> SUPERFICIE REGADA (HA) POR USOS Y DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS EN 2019.....	44
<b>TABLA 15.</b> PARÁMETROS DE ENTRADA EN EL MODELO Y SUS FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
<b>TABLA 16.</b> VOLUMEN NETO ANUAL DE RIEGO (HM <sup>3</sup> /AÑO) ORIGINADO POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS EN 2019.....	52
<b>TABLA 17.</b> VOLUMEN DE RIEGO NETO MENSUAL (HM <sup>3</sup> /MES) EN DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA, 2019 .....	53
<b>TABLA 18.</b> ESTACIONES EMPLEADAS POR DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA Y SISTEMA DE EXPLOTACIÓN.....	54
<b>TABLA 19.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA CUENCA MEDITERRÁNEAS DE ANDALUCÍA .....	66
<b>TABLA 20.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS ISLAS BALEARES.....	67
<b>TABLA 21.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS ISLAS CANARIAS.....	67
<b>TABLA 22.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO. .....	69
<b>TABLA 23.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. .....	71
<b>TABLA 24.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE GALICIA-COSTA.....	76
<b>TABLA 25.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE GUADALETE Y BARBATE.....	76

<b>TABLA 26.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR. ....	77
<b>TABLA 27.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA. ....	79
<b>TABLA 28.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR. ....	80
<b>TABLA 29.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL. ....	82
<b>TABLA 30.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA. ....	82
<b>TABLA 31.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. ....	84
<b>TABLA 32.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS. ....	85
<b>TABLA 33.</b> ESTACIONES EMPLEADAS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCA	
..... INTERNAS DE CATALUÑA. ....	86

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO DE TRABAJO EN ESPACIO SiAR PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y DEL SiAR. CONTIENE VARIAS PARTES DE TRABAJO BIEN DIFERENCIADAS POR LAS QUE FINALMENTE SE OBTIENEN DIFERENTES PRODUCTOS VÁLIDOS EN LA MONITORIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES REGABLES. ....	3
<b>FIGURA 2.</b> CONJUNTO DE PRODUCTOS BÁSICOS TRAS EL PROCESADO DE LAS IMÁGENES SENTINEL Y RESOLUCIÓN ESPACIAL GENERADOS EN ESPACIO SiAR .....	5
<b>FIGURA 3.</b> ESQUEMA METODOLÓGICO DEL BALANCE DE AGUA EN SUELO ASISTIDO POR TELEDETECCIÓN ESPACIAL Y TEMPORALMENTE DISTRIBUIDO DESARROLLADO .....	8
<b>FIGURA 4.</b> ASPECTO DE LA WEB DEL PROYECTO ESPACIO SiAR <a href="http://WWW.ESPACIOSIAR.ES">WWW.ESPACIOSIAR.ES</a> DONDE SE HAN CARGADO LOS PRODUCTOS PARA SU CONSULTA LIBRE Y GRATUITA POR LOS DIFERENTES USUARIOS DEL AGUA.....	9
<b>FIGURA 5.</b> NECESIDADES HÍDRICAS (MM) .....	10
<b>FIGURA 6.</b> DIAGRAMA DEL PROCESAMIENTO BÁSICO DE IMÁGENES DE LOS SATÉLITES SENTINEL – 2 (S2) .....	22
<b>FIGURA 7.</b> ÁMBITO ESPACIAL. DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA (LÍNEA AZUL), ZONAS REGABLES (POLÍGONOS VERDES) Y ESTACIONES DEL AGROMETEOROLÓGICAS. ....	23
<b>FIGURA 8.</b> GRÁNULOS SENTINEL 2-A PARA LA PENÍNSULA Y BALEARES.. ....	25
<b>FIGURA 9.</b> CO-REGISTRACIÓN TEMPORAL DE IMÁGENES SENTINEL2 .....	26
<b>FIGURA 10.</b> PÍXELES ENMASCARADOS INCORRECTAMENTE COMO NUBES .....	28
<b>FIGURA 11.</b> COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS CON GOOGLE EARTH ENGINE .....	29
<b>FIGURA 12.</b> EN NEGRO LAS CLASES AGUA (6), DARK AREA (2) Y SOMBRAS (3). SOBRE TIMANFAYA SEN2COR CLASIFICA CONSTANTEMENTE COMO AGUA EL NÚCLEO CENTRAL, ASÍ COMO DARK AREA Y SOMBRAS EN LOS ALREDEDORES PRÁCTICAMENTE PARA LA TOTALIDAD DE IMÁGENES DISPONIBLES.....	30
<b>FIGURA 13.</b> CONSULTAS AL DATACUBE (I): CÁLCULO DE SERIES TEMPORALES DE NDVI. CONSULTAS AL DATACUBE (II): GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE NDVI POR FECHAS.....	34
<b>FIGURA 14.</b> DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN.....	35
<b>FIGURA 15.</b> ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN.....	39
<b>FIGURA 16.</b> CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES USOS DE SUELO EN REGADÍO CLASIFICADOS.....	41
<b>FIGURA 17.</b> COEFICIENTE DE ESTRÉS HÍDRICO, $K_s$ (ALLEN ET AL., 1998). .....	48
<b>FIGURA 18.</b> BALANCE DE AGUA EN LA ZONA RADICULAR (ALLEN ET AL., 1998).....	49

<b>FIGURA 19.</b> TILEADO DE LOS USOS DEL SUELO .....	50
<b>FIGURA 20.</b> CONJUNTO DE PRODUCTOS BÁSICOS TRAS EL PROCESADO DE LAS IMÁGENES LANDSAT 8 Y RESOLUCIÓN ESPACIAL GENERADOS EN ESPACIO SiAR .....	56
<b>FIGURA 21.</b> IMAGEN GENERAL Y DETALLE DE CÓMO SE OBSERVAN LOS DISTINTOS CULTIVOS EN REGADÍOS SEGÚN LAS CLASES DE LA LEYENDA EN LOS MAPAS ANUALES DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO EN ESPACIO SiAR.....	57
<b>FIGURA 22.</b> IMAGEN DE CÓMO SE OBSERVAN LOS DISTINTOS CULTIVOS EN REGADÍOS SEGÚN LAS CLASES DE LA LEYENDA EN LOS MAPAS ANUALES DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO.....	58

## LISTADO DE SIGLAS

**AOI:** Área de interés (Area of interest)

**API:** Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface)

**BOA:** Parte baja de la atmósfera (Bottom of Atmosphere)

**ESA:** Agencia Espacial Europea (European Space Agency)

**ET:** Evapotranspiración

**ET<sub>o</sub>:** Evapotranspiración del cultivo de referencia

**ET<sub>c</sub>:** Evapotranspiración del cultivo

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FAO56:** Estudio de la FAO Riego y Drenaje nº 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

**FC:** Cítricos

**Fc:** Fracción de cobertura vegetal verde

**FEGA:** Fondo Español de Garantía Agraria

**FEOGA:** Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrícola

**FR:** Frutales

**INV:** Invernaderos

**Kc:** Coeficiente único de cultivo

**Kcb:** Coeficiente basal de cultivo

**L8:** Landsat 8

**MAPA:** Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

**MSI:** Instrumento Multiespectral a bordo de los satélites 2A y 2B (Multispectral Instrument)

**NASA:** Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (National Aeronautics and Space Administration)

**NDVI:** Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Normalized Difference Vegetation Index)

**NIR:** Infrarrojo cercano (Near Infrared)

**OLI:** Sensor multiespectral a bordo del satélite Landsat 8 (Operational Land Imager)

**OR:** Olivar

**P:** Precipitación

**QA:** Evaluación de calidad (Quality Assessment)

**RAW:** Agua fácilmente disponible para el cultivo

**RGB:** Composición de color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz: rojo, verde y azul (Red, Green, Blue)

**ROI:** Regadíos de otoño – invierno

**RP:** Regadíos de primavera

**RPV:** Regadíos de primavera – verano

**RV:** Regadíos de verano

**SAVI:** Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (Soil Adjusted Vegetation Index)

**SiAR:** Sistema de Información Agroclimática para el Regadío

**SIG:** Sistema de Información Geográfica

**SIGPAC:** Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas

**S2A:** Sentinel 2A

**S2B:** Sentinel 2B

**TAW:** Agua total disponible para el cultivo, la cual puede extraer del estrato de suelo explorado por sus raíces

**TOA:** Parte alta de la atmósfera (Top of Atmosphere)

**UDA:** Unidades de demanda agraria

**USGS:** Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey)

**VR:** Viñedo



**DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS  
EN EL REGADÍO ESPAÑOL MEDIANTE  
HERRAMIENTAS BASADAS EN EL SiAR, LA  
TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**Proyecto ESPACIO SiAR  
2019  
Informe final**

**MEMORIA RESUMEN**



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) tiene como objetivo optimizar el uso del agua en el regadío, promoviendo su sostenibilidad económica, social y medioambiental, mediante el asesoramiento a los regantes, facilitándoles información agroclimática relevante y estimaciones de riego, en el marco las actuaciones de impulso del desarrollo rural y del cumplimiento de requerimientos medioambientales que lleva a cabo el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

La Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), ha desarrollado el proyecto Spider SiAR desde el año 2016 hasta el 2018 y desde esta fecha está desarrollando el proyecto ESPACIO SiAR, dentro del marco de su Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR).

El proyecto ESPACIO SiAR integra los datos procedentes de las estaciones del SiAR del MAPA, ubicadas en las principales zonas regables, con las secuencias temporales de imágenes de los satélites Landsat 8, Sentinel 2A y Sentinel 2B, con el objetivo principal de realizar un seguimiento mediante el uso de teledetección de los cultivos que permita determinar con la mayor precisión posible las necesidades hídricas de los cultivos, para emplear el agua necesaria en el momento preciso, lo que llevará a un ahorro de agua y energía y, por otra parte, a la obtención de un rendimiento óptimo de los cultivos, teniendo en cuenta los cambios tecnológicos que está incorporando el sector agroalimentario en la actualidad.

La información obtenida se pone a disposición del amplio abanico de usuarios potenciales, entre otros: regantes individuales, gestores de comunidades de regantes, servicios de asesoramiento al regante, así como la propia administración para la planificación de los recursos hídricos a medio y largo plazo, a través de servicios gratuitos y de libre acceso mediante herramientas WebSIG. Con ello, se pretende proporcionar una herramienta adicional para la toma de decisiones que conllevan la programación de riegos y, en consecuencia, una mayor eficiencia en el uso del agua.

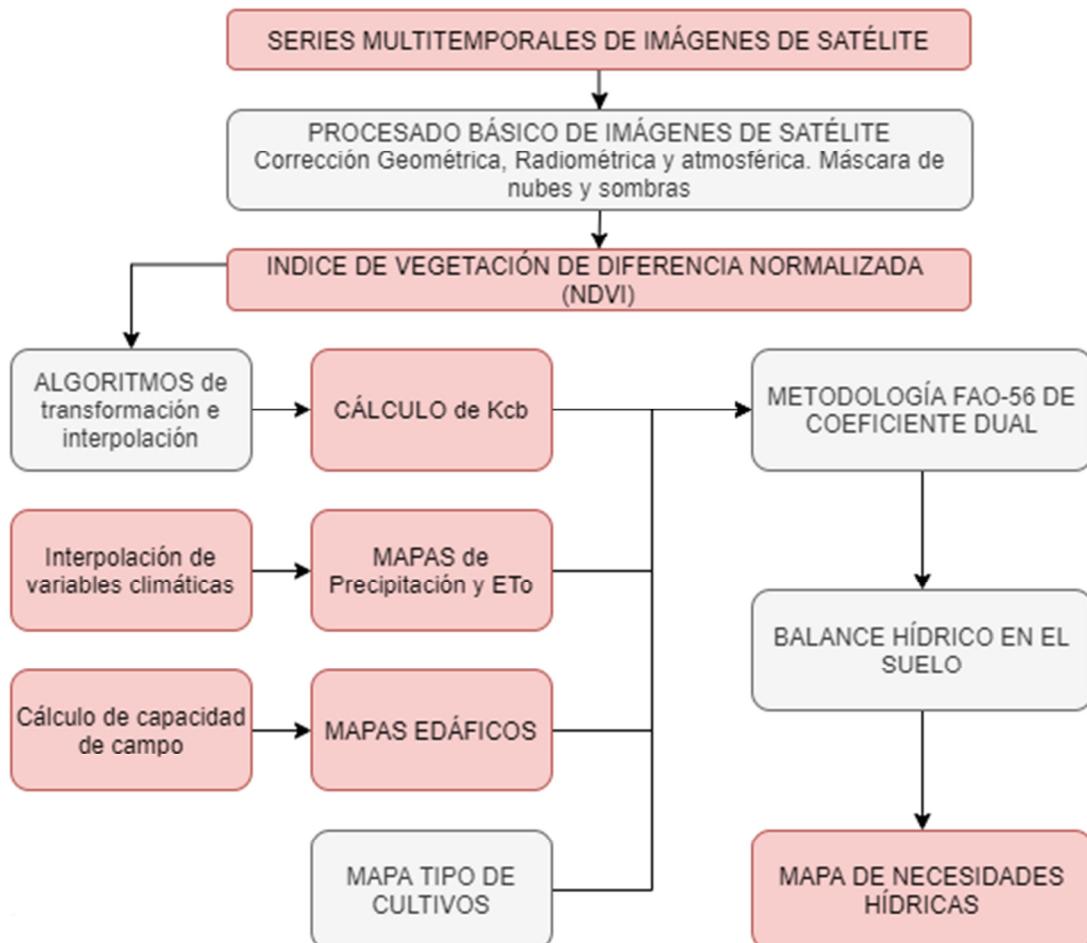
Se pueden consultar de manera libre y gratuita todos los productos y servicios, generados por el proyecto ESPACIO SiAR, en la plataforma webSIG en la página web [www.espaciosiar.es](http://www.espaciosiar.es). Los productos disponibles del proyecto ESPACIO SiAR son los siguientes:

- Secuencias temporales formadas por 15.782 imágenes multiespectrales tomadas por los satélites Landsat 8 (L8), Sentinel – 2A (S2A) y Sentinel – 2B (S2B), con el fin de monitorizar en parcela los cultivos en regadío mediante:
  - a) índices de vegetación (NDVI);
  - b) imágenes en color (RGB);
  - c) coeficiente basal de cultivo (Kcb).

- Secuencia mensual y anual de mapas temáticos de superficies regadas.
- Monitorización en zonas regables de:
  - a) Variables agroclimáticas de demanda evapotranspirativa (ET<sub>0</sub>) y precipitación (P)
  - b) Componentes del balance de agua en suelo asistido por teledetección e integrado con la red **SiAR** como son la evapotranspiración de los cultivos (ET<sub>c</sub>) y las necesidades de agua de riego (R).
- Localización de las estaciones del **SiAR** y consulta de los últimos datos registrados por cada una de ellas.
- Información cartográfica de interés como los recintos SIGPAC, así como la búsqueda guiada y por coordenadas.

## 2. INTEGRACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y DEL SiAR PARA EL SEGUIMIENTO CONTINUO DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS

La integración de los datos procedentes de las estaciones agrometeorológicas con la información multiespectral adquirida mediante técnicas de teledetección, permite monitorizar el estado de los cultivos. Al añadir factores cuantitativos estables, tales como los parámetros edáficos (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua fácilmente evaporable), el tipo de cultivo y los límites del crecimiento radicular de los mismos, es posible realizar una estimación de las necesidades hídricas de los cultivos aplicando el procedimiento FAO-56 para la determinación de la evapotranspiración del cultivo y sus requerimientos de agua, asistido por teledetección, tanto espacial como temporalmente distribuido (Sánchez, N., 2009, Garrido Rubio et al., 2012).



**Figura 1.** Esquema metodológico de trabajo en ESPACIO SiAR para la integración de la teledetección y del SiAR. Contiene varias partes de trabajo bien diferenciadas por las que finalmente se obtienen diferentes productos válidos en la monitorización de las superficies regables.

Así mismo, cada tipo de producto atiende a diferentes escalas espaciales de trabajo, con lo que da servicio a diferentes usuarios del agua como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Alcance de los productos y servicios generados por **ESPACIO SiAR**

Segmento de trabajo	Productos generados	Alcance de los servicios
Procesado de imágenes de satélite	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Secuencias temporales de imágenes NDVI, RGB y Kcb</li> </ul>	Monitorización a escala de parcela en tiempo real por usuarios privados del agua como regantes y/o asesores
Clasificación de cultivos en regadío	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mapas temáticos de cultivos en regadío.</li> <li>▪ Mapas de cambios en el uso del suelo de regadío</li> </ul>	Monitorización en diferentes escalas de trabajo por gestores del agua en comunidades de regantes y administraciones
Balance de agua en el suelo. Estimación de las necesidades hídricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mapas temáticos de la evapotranspiración actual (<math>ET_c</math>)</li> <li>▪ Mapas temáticos de las necesidades de riego (R)</li> </ul>	Monitorización en varias escalas de trabajo por usuarios del agua como regantes y/o asesores y gestores del agua en comunidades de regantes y administraciones
Distribución de la información vía servicios webSIG	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plataforma de distribución de la información</li> </ul>	Acceso de forma libre y gratuita que permite la monitorización en tiempo real y desde cualquier punto geográfico

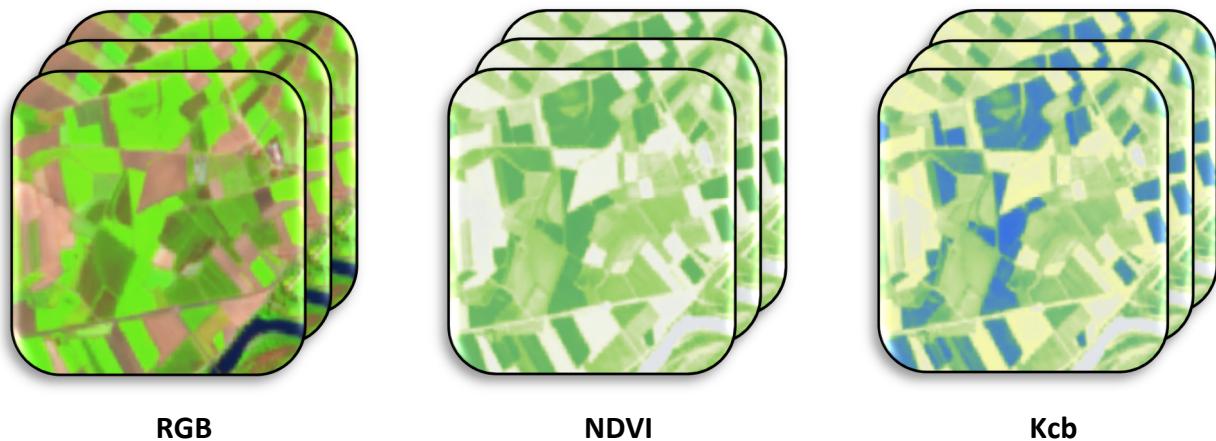
## 2.1. PROCESADO DE IMÁGENES DE SATÉLITE MULTIESPECTRALES

Para el desarrollo del proyecto ESPACIO SiAR en el año 2019 se han procesado un total de 14.466 gránulos adquiridos por los satélites Sentinel-2A y Sentinel-2B (en adelante Sentinel-2), cubriendo con ellas toda la superficie de España, tanto insular (439 en Canarias y 149 en Baleares) como peninsular (13.878).

Las imágenes de Sentinel-2 se presentan en gránulos de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, con una resolución espacial de 10 m y un periodo de revista de 10 días para cada satélite, estableciendo, por la combinación de ambos, una resolución temporal de aproximadamente 5 días. Por tanto, todos los productos generados en este proyecto tienen una resolución espacial de 10 m, habiendo procesado un total de 106 tiles (cuadrados que forman una malla diseñado por la ESA para la distribución de imágenes satelitales).

A partir de las imágenes satelitales procesadas, se ha generado una secuencia temporal de imágenes NDVI a las que se ha sometido a un procesado previo para mitigar el efecto de las nubes y sombras, a partir de las cuales se calcula el coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ), ambos de gran valor para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos.

Para el visor web SIG se han utilizado 15.782 imágenes Sentinel2 y Landsat8 en 2019 y se ha generado una densa secuencia temporal de imágenes NDVI, RGB y  $K_{cb}$ . A este conjunto de productos se le denomina productos básicos (Figura 2). Estos productos básicos, orientados a la monitorización en parcela, pueden ser aprovechados por regantes o servicios de asesoramiento al riego. Mediante las secuencias temporales de imágenes RGB el usuario puede observar cualitativamente la evolución de sus parcelas y detectar posibles incidencias en la parcela. Esta información, acompañada cuantitativamente por las secuencias temporales de NDVI facilitará al usuario el diagnóstico de sus cultivos. Por último, mediante las series temporales de  $K_{cb}$  el regante puede utilizar una información capital a la hora de programar los riegos de forma eficiente. Siendo además una información personal y directamente obtenida de su parcela.



**Figura 2.** Conjunto de productos básicos tras el procesado de las imágenes sentinel y resolución espacial generados en **ESPACIO SiAR**

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS EN REGADÍO

Se ha generado un mapa de usos de suelo en regadío para el año 2019, a escala 10x10m que abarca la superficie española. Para su construcción, la metodología se basa en la combinación de una clasificación basada en secuencias multitemporales de imágenes NDVI, junto con el análisis e integración de múltiples fuentes cartográficas mediante herramientas SIG. En consecuencia, el conocimiento de la evolución temporal de las diferentes cubiertas vegetales ha sido el instrumento esencial en la identificación de los cultivos de regadío, pues la evolución temporal del NDVI derivado de dichas secuencias permite describir la evolución temporal de la cubierta vegetal. Por lo tanto, se puede hacer el seguimiento mediante el NDVI de las diferentes fases de desarrollo en el crecimiento del cultivo.

La generación de estos mapas de usos de suelo en regadío es un instrumento esencial en el seguimiento de las zonas regables por los **gestores del agua**. Su estudio permite identificar los cultivos y su evolución sobre el territorio, lo que aporta una poderosa

herramienta para desarrollar la planificación. La Tabla 2 muestra las diferentes clases de usos del suelo en regadío clasificadas, con su código y leyenda visual.

En la campaña 2019 se ha realizado una mayor desagregación de las clases de cultivos herbáceos en regadío, con el objeto de reflejar de una manera más ajustada la diversidad del regadío en España (que se pueden agrupar con la codificación de campañas pasadas para mantener continuidad en análisis).

**Tabla 2.** Leyenda de usos de suelo en regadío clasificados por el proyecto **ESPACIO SiAR**

CULTIVOS EN REGADÍO	CLASES 2018		CLASES 2019		DESCRIPCION
HERBACEOS	PRIMAVERA		PRIMAVERA		Desarrollo fenológico centrado en primavera
			PRIMAVERA-OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en primavera-otoño
	VERANO		VERANO		Desarrollo fenológico centrado en verano
			VERANO-OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en verano-otoño
	PRIMAVERA-VERANO		PRIMAVERA-VERANO		Desarrollo fenológico centrado en primavera-verano
			ANUAL		Desarrollo fenológico elevado todo el año
	OTOÑO		OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en otoño
LEÑOSOS	Viñedo				Diferentes especies vitivinícolas.
	Olivar				Diferentes especies oleícolas.
	Cítricos				Diferentes especies de árboles cítricos.
	Frutales				Diferentes especies de árboles frutales.
<b>Invernadero</b>	Invernaderos				Agricultura bajo invernaderos.

### 2.3. BALANCE DE AGUA EN EL SUELO MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y EL SiAR

Mediante la ejecución del balance de agua en el suelo asistido por teledetección se integra el procesado de imágenes de satélite que monitorizan las cubiertas vegetales en regadío y los datos registrados por las redes agroclimáticas centradas en las zonas de regadío, principalmente del **SiAR**, a las que se han añadido las estaciones de la Agencia Vasca de Meteorología (Euskalmet), del Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentacion

de la Generalitat de Cataluña (Ruralcat), Servicio de Información Agroclimática de La Rioja (SIAR) y de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

En consecuencia, se han determinado espacial y temporalmente distribuidas (frecuencia mensual y anual), la evapotranspiración actual de los cultivos en regadío así como sus necesidades hídricas (demanda neta de los cultivos). Para su ejecución se ha desarrollado íntegramente un modelo en Python con los procedimientos desarrollados en el manual de la FAO-56.

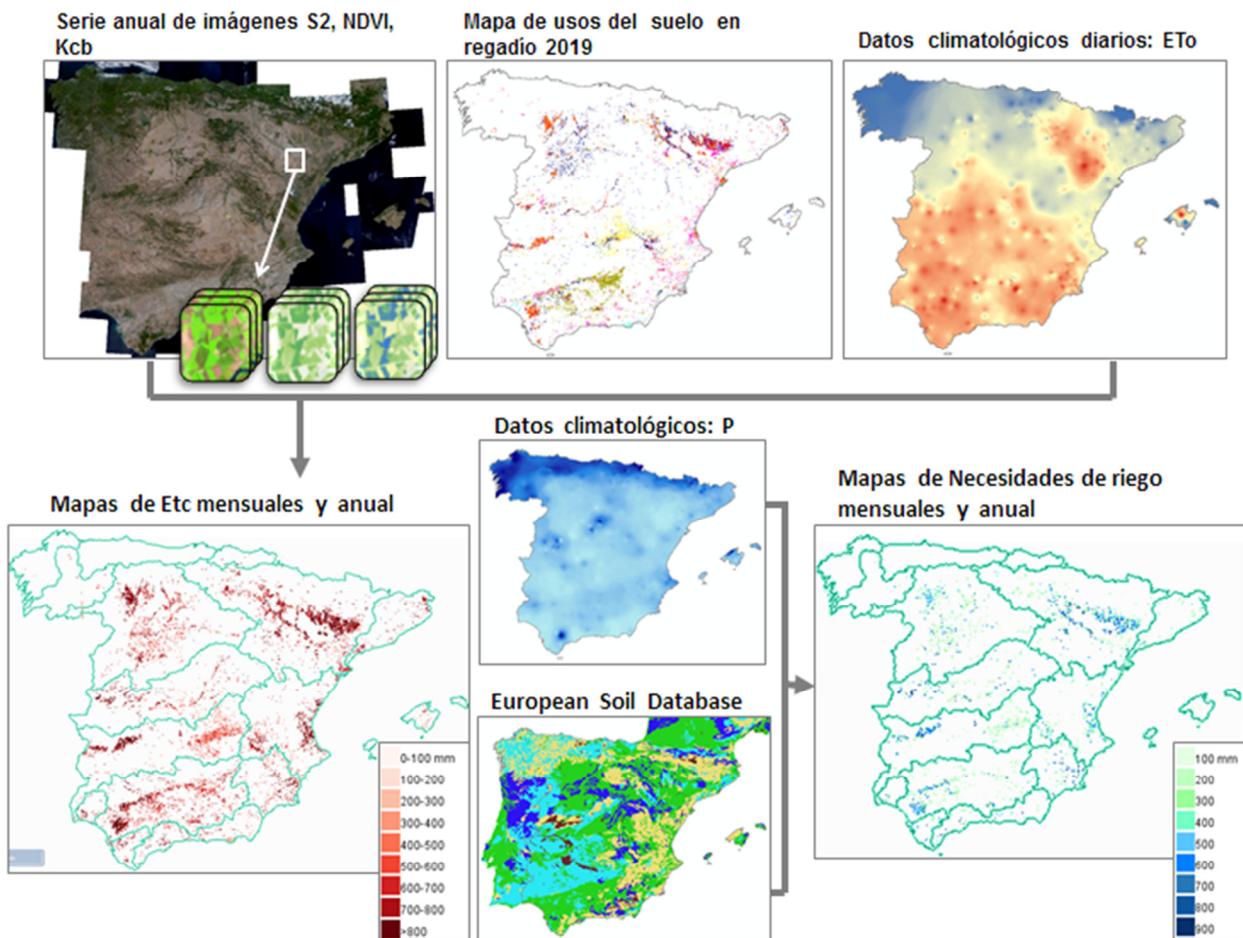
La metodología empleada sigue el modelo de coeficiente dual FAO-56, el cual permite determinar por separado los efectos de la evaporación en el suelo y la transpiración del cultivo, así como incorporar los efectos que tiene sobre la evapotranspiración y, por ende, sobre los requerimientos de los cultivos.

El principal aporte de la integración de las técnicas de teledetección actuales es la capacidad de determinar el coeficiente de cultivo basal y la fracción del suelo que está cubierta por la vegetación y su distribución en el tiempo y en el espacio, permitiendo replicar este proyecto en cualquier superficie terrestre del mundo.

La ejecución del modelo se lleva a cabo en una escala diaria, obteniendo resultados mensuales y anuales. Para la obtención de estos resultados se introduce en el modelo los datos agroclimáticos interpolados mediante la distancia inversa ponderada de los datos diarios recogidos por las estaciones, distribuidas por todo el territorio. Sin embargo, dado que la adquisición de imágenes de satélite tiene una frecuencia de 5 días, para la obtención de dato diario de imagen satelital, se realiza una interpolación lineal para los días sin imágenes empleando para ello la imagen anterior y posterior a dichos días.

La generación de los mapas temáticos ETc y de necesidades netas de riego, es de gran interés para diferentes usuarios del agua, especialmente para aquellos gestores públicos encargados de desarrollar los planes hidrológicos de las diferentes demarcaciones hidrográficas. Al obtener series temporales mensuales de la evaporación actual de los cultivos y de sus necesidades hídricas, tras incorporar las condiciones meteorológicas registradas por las redes agroclimáticas, se obtiene información más detallada de los recursos hídricos empleados. Es, por tanto, un camino que facilita el cumplimiento de la Directiva Marco Agua.

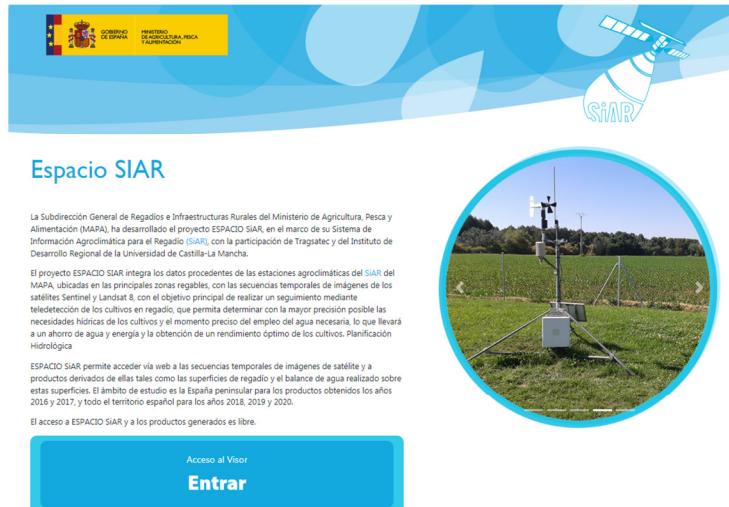
En la siguiente imagen se muestran todos los elementos de partida tenidos en cuenta en el proyecto ESPACIO SiAR.



**Figura 3.** Esquema metodológico del balance de agua en suelo asistido por teledetección espacial y temporalmente distribuido desarrollado

## 2.4. DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN

A través de la página web del proyecto ESPACIO SiAR se facilita, a los diferentes usuarios, de manera gratuita y sin necesidad de instalar ningún software, el acceso a las secuencias temporales de los diferentes productos generados en **ESPACIO SiAR**.



**Figura 4.** Aspecto de la web del proyecto **ESPACIO SiAR** [www.espaciosiar.es](http://www.espaciosiar.es) donde se han cargado los productos para su consulta libre y gratuita por los diferentes usuarios del agua

### 3. RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS Y SUS NECESIDADES HÍDRICAS

Los resultados muestran que en la campaña 2019 las necesidades hídricas de los cultivos en regadío son aproximadamente 13.949 hm<sup>3</sup> en el territorio peninsular, 134 hm<sup>3</sup> en las Islas Canarias y de 43 hm<sup>3</sup> en las Islas Baleares, arrojando un total de 14.125 hm<sup>3</sup>, lo que supone un incremento de alrededor del 36% con respecto a los 10.420 hm<sup>3</sup> estimados la pasada campaña.

El año 2019 ha sido significativamente más seco con una precipitación media de 628 mm, mientras que en el año 2018 la precipitación media se situó en 808 mm. En cuanto a la ET<sub>0</sub> media de los cultivos en regadío, el valor obtenido en el año 2019 es de 1.230 mm, mientras que en el 2018 la ET<sub>0</sub> media fue de 1.135 mm. Debe indicarse además que la superficie regada se ha mantenido respecto al año anterior, produciéndose únicamente un pequeño incremento de 1,44%.

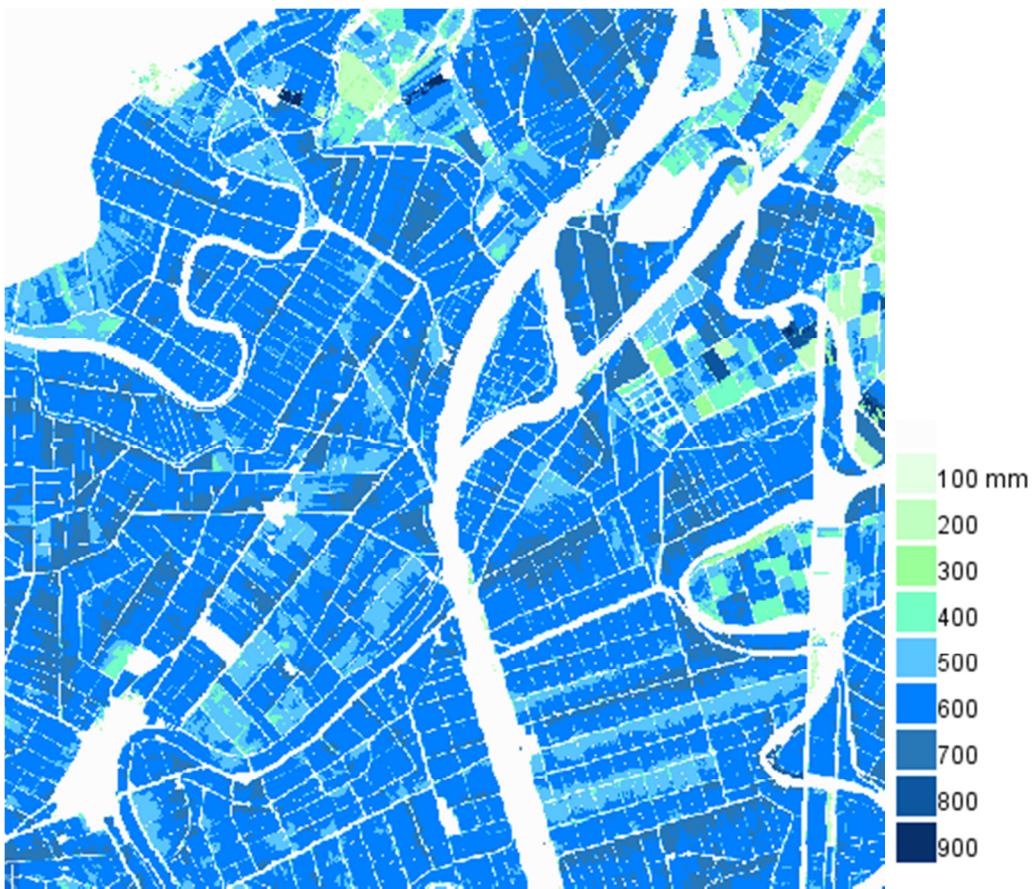


Figura 5. Necesidades hídricas (mm)

### 3.1. RESULTADOS DE LAS SUPERFICIES AGRÍCOLAS REGADAS

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la superficie agrícola regada por demarcación hidrográfica y por tipo de cultivo del año 2019 (según leyenda de cultivos en regadío presentados anteriormente en la Tabla 2). Así mismo, se muestran también en la

Tabla 44, de usos del suelo por comunidad autónoma (las superficies totales por usos del suelo según comunidades autónomas difieren ligeramente, diferencial menor al 1%, de las proporcionadas por demarcaciones hidrográficas debido al tratamiento espacial de los distintos perímetros a la hora de realizar la operación SIG de cruce).

**Tabla 3.** Superficie regada (ha) por usos y demarcaciones hidrográficas en el año 2019.

Demarcación hidrográfica	Primavera	Verano	Prim-Ver	Otoño	Viñedo	Olivar	Cítricos	Frutales	Inv.	TOTAL 2019
C. INTERNAS CATALUÑA	15.706	12.483	16.708	443	2.012	9.536	878	22.579	870	81.215
C. MED. ANDALUZAS	8.810	3.873	3.600	2.359	1.994	43.951	19.194	33.966	34.974	152.721
CANARIAS	3.304	593	5.267	180	1.120	78	1.066	7.361	7.407	26.377
CANTÁBRICO OCCIDENTAL	0	51	617	0	1	0	0	231	121	1.021
CANTÁBRICO ORIENTAL	12	85	785	0	62	7	0	3.499	199	4.649
DUERO	247.504	185.370	56.929	3.486	9.532	723	0	3.785	273	507.601
EBRO	223.100	146.939	206.190	2.393	42.047	48.178	7.399	133.382	707	810.333
GALICIA-COSTA	14	31	1.636	0	174	5	0	33	115	2.007
GUADALETE Y BARBATE	18.992	21.450	5.404	126	340	6.643	767	959	853	55.534
GUADALQUIVIR	86.654	118.796	19.612	2.280	2.692	524.648	42.416	50.496	7.485	855.079
GUADIANA	87.334	98.303	11.000	2.593	173.784	44.501	4.782	31.716	927	454.940
ISLAS BALEARES	9.717	920	2.112	677	237	316	1.090	1.285	223	16.577
JÚCAR	62.909	41.436	22.166	4.412	39.874	10.976	150.512	39.346	1.377	373.007
MIÑO-SIL	644	3.278	5.343	2	121	3	0	1.385	47	10.824
SEGURA	24.344	16.010	9.596	11.380	22.265	16.409	54.439	46.284	5.229	205.954
TAJO	49.734	42.743	34.656	2.848	9.534	31.715	8	22.903	168	194.309
TINTO, ODIEL Y PIEDRAS	2.249	319	255	41	65	4.210	13.787	3.813	8.758	33.498
<b>TOTAL</b>	<b>841.027</b>	<b>692.680</b>	<b>401.875</b>	<b>33.220</b>	<b>305.855</b>	<b>741.899</b>	<b>296.339</b>	<b>403.022</b>	<b>69.733</b>	<b>3.785.648</b>

**Tabla 4.** Superficie regada (ha) por usos y comunidades autónomas en 2019

CCAA	Primavera	Verano	Prim-Ver	Otoño	Viñedo	Olivar	Cítricos	Frutales	Invern.	TOTAL 2019
<b>Andalucía</b>	119.841	144.929	29.467	5.171	4.570	578.558	82.819	91.081	53028	<b>1.109.464</b>
<b>Aragón</b>	139.265	66.894	137.455	674	11.440	16.312	18	60.108	105	<b>432.272</b>
<b>Asturias</b>	0	6	57	0	0	0	0	16	98	<b>177</b>
<b>Baleares</b>	9.717	920	2.112	677	237	316	1.090	1.285	223	<b>16.577</b>
<b>C Valenciana</b>	12.680	22.042	11.081	4.999	15.542	9.298	173.260	32.993	1671	<b>283.566</b>
<b>Canarias</b>	3.304	593	5.267	180	1.120	78	1.066	7.361	7.407	<b>26.377</b>
<b>Cantabria</b>	154	205	763	0	2	0	0	207	22	<b>1.354</b>
<b>Castilla la Mancha</b>	256.315	188.508	59.256	3.529	9.890	4.389	0	8.040	287	<b>530.215</b>
<b>Castilla y León</b>	147.672	52.406	27.740	5.293	211.129	29.676	0	28.342	287	<b>502.546</b>
<b>Cataluña</b>	46.726	57.885	62.300	763	9.241	33.784	8.746	84.154	996	<b>304.596</b>
<b>Extremadura</b>	36.139	102.790	27.560	1.049	6.807	50.400	74	39.911	273	<b>265.005</b>
<b>Galicia</b>	315	3.230	6.398	2	175	7	0	35	162	<b>10.325</b>
<b>La Rioja</b>	15.305	4.863	3.098	264	12.314	2.864	2	5.727	52	<b>44.489</b>
<b>Madrid</b>	6.156	7.063	3.844	682	432	777	0	182	43	<b>19.179</b>
<b>Murcia</b>	16.241	12.178	5.002	8.761	11.833	10.475	29.210	34.140	4269	<b>132.107</b>
<b>Navarra</b>	23.330	23.801	18.015	1.170	10.687	4.894	0	5.661	427	<b>87.983</b>
<b>País Vasco</b>	7.809	4.135	2.407	4	434	62	0	3.748	205	<b>18.803</b>
<b>TOTAL</b>	<b>840.969</b>	<b>692.447</b>	<b>401.823</b>	<b>33.219</b>	<b>305.853</b>	<b>741.890</b>	<b>296.286</b>	<b>402.992</b>	<b>69.555</b>	<b>3.785.035</b>

### 3.2. RESULTADOS DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS ESTIMADAS

La identificación previa de las superficies en riego junto a la información agrometeorológica de la red SiAR, principalmente, ha permitido estimar las necesidades hídricas netas de riego que se muestran de manera agregada por demarcaciones hidrográficas en la Tabla 5 y en la Tabla 6.

Se presentan, por tanto, los resultados anuales y mensuales de las necesidades netas de riego (sin tener en cuenta las diferentes eficiencias), obtenidas tras realizar el balance de agua en el suelo asistido por teledetección espacial y temporalmente distribuido. Además, en la página web del proyecto ESPACIO SiAR se muestran las series temporales de necesidades de riego agregadas mensualmente.

**Tabla 5.** Volumen neto anual de riego (hm<sup>3</sup>/año) por demarcaciones hidrográficas en el año 2019.

Demarcación Hidrográfica	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> )
	2019
<b>Ebro</b>	3.952
<b>Guadalquivir</b>	2.482
<b>Duero</b>	2.036
<b>Guadiana</b>	1.489
<b>Júcar</b>	1.292
<b>Tajo</b>	921
<b>Segura</b>	575
<b>Cuencas Med. Andaluzas</b>	474
<b>Cuencas Internas de Cataluña</b>	306
<b>Guadalete y Barbate</b>	246
<b>Tinto, Odiel y Piedras</b>	119
<b>Tenerife</b>	70
<b>Islas Baleares</b>	43
<b>Miño – Sil</b>	36
<b>Gran Canaria</b>	28
<b>La Palma</b>	27
<b>Cantábrico Oriental</b>	11
<b>Galicia – Costa</b>	6
<b>La Gomera</b>	6
<b>Cantábrico Occidental</b>	4
<b>El Hierro</b>	2
<b>Lanzarote</b>	0
<b>Fuerteventura</b>	0
<b>TOTAL</b>	<b>14.125</b>

**Tabla 6.** Volumen de riego neto mensual (hm<sup>3</sup>/mes) en demarcación hidrográfica, 2019.

Demarcación hidrográfica	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> ) en 2019											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Ebro</b>	2,4	53,8	280,6	276,9	583,8	740,1	665,6	649,2	473,0	209,8	13,2	4,0
<b>Guadalquivir</b>	0,4	21,9	89,2	110,9	357,2	480,4	541,3	507,9	237,0	115,1	20,5	0,2
<b>Duero</b>	0,1	13,1	143,8	131,5	430,0	354,4	354,8	331,1	200,0	76,9	0,4	0,1
<b>Guadiana</b>	0,4	25,2	79,2	49,5	189,5	276,9	363,6	314,6	144,3	38,2	7,6	0,2
<b>Júcar</b>	3,8	17,3	71,3	38,1	162,6	286,9	295,7	245,9	64,9	51,1	52,0	2,4
<b>Tajo</b>	1,1	20,3	59,8	37,6	142,4	158,5	193,8	164,0	92,7	44,0	6,5	0,6
<b>Segura</b>	5,9	14,7	33,0	32,5	61,4	126,2	132,9	96,5	33,2	14,0	19,1	5,2
<b>Mediterráneas andaluzas</b>	0,8	3,4	18,9	25,7	85,8	89,3	90,1	79,2	32,2	32,6	14,2	1,8
<b>Internas de Cataluña</b>	0,5	9,6	24,5	14,7	34,6	61,5	58,8	57,4	25,2	18,4	0,6	0,2
<b>Guadalete y Barbate</b>	0,1	6,6	21,0	13,8	35,3	37,7	45,8	46,5	27,1	10,9	1,1	0,1
<b>Tinto, Odiel y Piedras</b>	0,0	0,5	2,7	3,9	21,0	21,5	21,6	22,3	14,3	8,4	2,8	0,3
<b>Tenerife</b>	0,5	2,9	4,6	4,7	9,7	9,8	10,1	10,0	7,8	4,6	2,7	2,7
<b>Islas Baleares</b>	0,0	1,7	7,0	6,8	7,0	6,1	5,5	4,5	2,1	2,3	0,1	0,1
<b>Miño-Sil</b>	0,0	0,0	1,4	0,4	4,7	4,4	11,4	8,2	4,2	0,7	0,0	0,0
<b>Gran Canaria</b>	0,0	0,5	2,1	2,8	4,5	3,7	3,6	3,7	2,8	2,1	1,1	0,7
<b>La Palma</b>	0,0	0,5	1,8	2,3	3,6	3,1	4,1	4,2	3,3	1,8	1,2	1,5
<b>Cantábrico oriental</b>	0,0	0,1	0,3	0,1	0,4	2,1	3,5	2,4	1,4	0,6	0,0	0,0
<b>Galicia Costa</b>	0,0	0,0	0,3	0,1	1,0	0,6	1,8	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0
<b>La Gomera</b>	0,0	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3
<b>Cantábrico occidental</b>	0,0	0,0	0,3	0,1	0,4	0,6	0,8	0,9	0,4	0,2	0,0	0,0
<b>El Hierro</b>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Lanzarote</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>Fuerteventura</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>16,0</b>	<b>192,4</b>	<b>842,2</b>	<b>753,0</b>	<b>2.135,8</b>	<b>2.664,8</b>	<b>2.805,8</b>	<b>2.550,6</b>	<b>1.367,7</b>	<b>632,2</b>	<b>143,6</b>	<b>20,5</b>

**Tabla 7.** Volumen de riego neto mensual (hm<sup>3</sup>/mes) por comunidad autónoma, 2019.

CCAA	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> ) en 2019											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Andalucía</b>	1,6	33,6	135,0	156,8	507,5	636,9	707,1	664,0	315,7	170,3	41,2	3,0
<b>Aragón</b>	1,8	38,4	187,9	176,1	376,1	420,7	377,0	356,2	277,3	122,7	9,1	3,1
<b>Canarias</b>	0,6	4,3	8,9	10,4	18,9	17,6	18,8	18,8	14,6	9,2	5,6	5,3
<b>Cantabria</b>	0,0	0,1	0,4	0,2	0,8	1,0	1,1	1,3	0,5	0,3	0,0	0,0
<b>Castilla y León</b>	0,1	13,8	148,9	134,8	445,9	375,5	370,5	344,0	207,2	81,2	0,5	0,1
<b>Castilla-La Mancha</b>	1,7	35,5	118,6	57,5	258,1	252,6	261,7	227,8	94,2	37,3	7,5	0,4
<b>Cataluña</b>	0,8	18,9	71,5	83,4	168,0	263,0	259,7	249,4	158,2	74,4	4,5	0,9
<b>Comunidad de Madrid</b>	0,0	1,7	6,4	4,1	16,4	15,1	17,4	14,7	6,5	4,0	0,2	0,0
<b>Comunidad Foral de Navarra</b>	0,3	5,2	29,2	23,7	43,6	64,0	61,4	71,9	48,0	23,2	0,7	0,2
<b>Comunidad Valenciana</b>	3,2	10,7	41,8	30,5	74,2	213,5	254,7	203,7	45,6	35,5	51,3	2,4
<b>Extremadura</b>	1,3	17,4	49,1	38,8	149,7	259,7	342,5	292,3	156,7	54,0	8,8	0,6
<b>Galicia</b>	0,0	0,0	1,3	0,4	4,3	3,8	10,6	7,2	3,9	0,2	0,0	0,0
<b>Illes Balears</b>	0,0	1,7	7,0	6,8	7,0	6,1	5,5	4,5	2,1	2,3	0,1	0,1
<b>La Rioja</b>	0,0	0,9	9,9	6,0	20,0	32,1	18,7	21,0	11,8	6,3	0,0	0,0
<b>País Vasco</b>	0,0	0,3	4,2	1,6	6,4	17,4	10,6	8,8	3,7	2,4	0,0	0,0
<b>Principado de Asturias</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Región de Murcia</b>	4,7	10,0	21,9	21,8	39,4	85,7	88,4	64,5	21,5	9,2	14,2	4,3
<b>TOTAL</b>	<b>16,1</b>	<b>192,5</b>	<b>842,0</b>	<b>752,9</b>	<b>2.136,3</b>	<b>2.664,7</b>	<b>2.805,8</b>	<b>2.550,2</b>	<b>1.367,5</b>	<b>632,5</b>	<b>143,7</b>	<b>20,4</b>

## 4. ACCESO A LAS SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS PRODUCTOS

Como se ha reseñado anteriormente, la consulta de los productos generados por el proyecto **ESPACIO SiAR** es libre y gratuita.

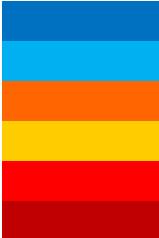
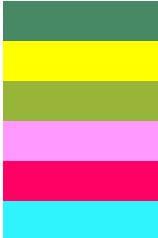
Web ESPACIO SiAR	Web propia del SiAR
<a href="http://www.espaciosiar.es">www.espaciosiar.es</a>	<a href="http://www.siar.es">www.siar.es</a>

### 4.1. SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE.

- **RGB**: secuencia temporal de imágenes combinación color.
- **NDVI**: secuencia temporal de imágenes de índice de vegetación NDVI sin nubes y sombras.
- **Kcb**: secuencia temporal de imágenes coeficiente basal de cultivo sin nubes y sombras.

### 4.2. USOS DEL SUELO.

- **Usos del suelo [en regadío]**: mapas descriptivos de usos de suelo en regadío clasificados según la secuencia temporal de NDVI. Divididos en diferentes clases según la leyenda:

	PRIMAVERA PRIMAVERA-OTOÑO VERANO VERANO-OTOÑO PRIMAVERA-VERANO ANUAL		OTOÑO Viñedo (VR) Olivar (OR) Cítricos (FC) Frutales (FR) Invernaderos (INV)
---	---	---	---

#### 4.3. MAPAS TEMÁTICOS DE VARIABLES AGROCLIMÁTICAS Y BALANCE DE AGUA EN SUELO.

- **Evapotranspiración actual [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen las necesidades hídricas acumuladas mensual y anualmente de las cubiertas vegetales en regadío.
- **Necesidades netas de riego [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la dosis de riego neto acumulado mensualmente de las cubiertas vegetales en regadío.
- **Evapotranspiración de referencia [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la demanda evaporativa de la atmósfera acumulada mensual y anualmente.
- **Precipitación [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la precipitación acumulada mensual y anualmente.

#### 4.4. CARTOGRAFÍA AUXILIAR.

- **Red SiAR:** capa vectorial de puntos que indica la posición de cada estación agroclimática que forma parte del SiAR.
- **Demarcaciones hidrográficas:** Capa que contiene los límites de las Demarcaciones hidrográficas
- **Recintos SIGPAC:** Capa que contiene los recintos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas, SIGPAC. Esta capa únicamente es visible a un nivel de zoom de 200 m
- **Catastro:** Capa que contiene los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales
- **Nomenclátor Geográfico:** Registro dinámico de información del Instituto Geográfico Nacional, que recoge las denominaciones oficiales referenciadas geográficamente que deben utilizarse en la cartografía oficial. Está constituido por la armonización del Nomenclátor Geográfico Básico de España y los Nomenclátores Geográficos de cada una de las Comunidades Autónomas
- **Divisiones Administrativas:** Unidades administrativas y límites administrativos de España con tres niveles de administración (comunidad autónoma, provincia y municipio) en función del zoom aplicado.

- **MTN IGN:** Mapa topográfico nacional procedente del instituto geográfico nacional. Las escalas representadas en función del nivel de zoom son: 1:500.000, 1:200.000, 1:100.000 y 1:25.000.
- **Ortofotos (PNOA):** Imágenes procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 o 50 cm
- **Fechas Ortofotos:** Fecha de captura de las ortofotos
- **Open Street Map:** Mapa básico procedente de Open Street Maps.

## 5. CONCLUSIONES

Gracias al proyecto ESPACIO SiAR, llevado a cabo por la Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA, el empleo de imágenes de satélite junto con la información ofrecida principalmente por el SiAR del MAPA permite conocer a una escala de 10 m<sup>2</sup> la evolución de las cubiertas vegetales en regadío.

Toda la información generada por el proyecto ESPACIO SiAR se pone a disposición de los diferentes usuarios, tanto en el ámbito del sector agroalimentario como de la gestión de los recursos hídricos que realizan las administraciones públicas, de forma libre y gratuita en la página web del proyecto en el ámbito nacional.

El estudio de las secuencias temporales de  $K_{cb}$  aporta beneficios relevantes en diferentes niveles de gestión.

Por un lado, el regante o el asesor pueden ser capaces de monitorizar el estado de sus cubiertas vegetales en regadío y, estimar las necesidades hídricas de sus cultivos. Por otro lado, el gestor de una comunidad de regantes es capaz de acceder a valores promedio agregados a la escala espacial de la propia comunidad de regantes y efectuar la comparación con la de otras campañas de riego.

De manera adicional, la estimación de las superficies de los cultivos en regadío por demarcaciones hidrográficas y por comunidades autónomas, así como de sus necesidades hídricas netas, resultan de gran relevancia para la gestión de los recursos hídricos y la planificación estratégica que realizan las administraciones públicas, en el marco del ciclo de planificación hidrológica.

Por todo ello, se puede afirmar que el proyecto ESPACIO SiAR contribuye a la mejora de la eficiencia en el uso del agua del regadío y, por lo tanto, a la eficiencia energética, además de permitir una planificación adecuada de los recursos hídricos por parte de los gestores del agua, al contar con información espacialmente agregada de la situación y evolución de los cultivos en regadío sobre grandes áreas.

**DETERMINACIÓN DE NECESIDADES HÍDRICAS EN EL  
REGADÍO ESPAÑOL MEDIANTE HERRAMIENTAS  
BASADAS EN EL SiAR, LA TELEDETECCIÓN Y LOS SIG**

**Proyecto ESPACIO SiAR  
2019**

**MATERIALES, MÉTODOS Y RESULTADOS**



## 1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA EL REGADÍO (SiAR) Y EL PROYECTO ESPACIO SiAR

El Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) tiene como misión optimizar el uso del agua en el regadío, promoviendo su sostenibilidad económica, social y medioambiental, mediante el asesoramiento a los regantes, facilitándoles información agroclimática relevante y estimaciones de riego, en el marco las actuaciones de impulso del desarrollo rural y del cumplimiento de requerimientos medioambientales que lleva a cabo el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Dado que resulta clave para el regadío el determinar con la mayor precisión posible las necesidades hídricas de los cultivos, con el objetivo de emplear el agua necesaria en el momento preciso, en el año 1998, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) inició el proyecto, ejecución e instalación del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, SiAR, al amparo de la Iniciativa Comunitaria INTERREG II-C: Lucha contra la sequía, dentro de la medida 1 de mejora de la gestión y uso del agua de riego, correspondiente al subprograma 2 del FEOGA-Orientación, de competencia de la Administración General del Estado, en las comunidades autónomas de: Andalucía, Canarias, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Extremadura y Región de Murcia, instalando una serie de estaciones agroclimáticas automáticas en dichas comunidades autónomas. A continuación, en el marco del Plan Nacional de Regadíos, se procedió a su ampliación a las comunidades autónomas de Aragón, Islas Baleares, Galicia, Comunidad de Madrid y Comunidad Foral de Navarra, con superficies significativas en regadío, en las que fue posible su instalación.

En la actualidad, el SiAR es una red compuesta por más de 450 estaciones agroclimáticas ubicadas en zonas de regadío, siendo la mayor parte de ellas propiedad del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA).

La información que proporciona el SiAR es de gran utilidad para el regante y también para el MAPA, en el ámbito de la política en materia de agua a nivel nacional.

La Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), lleva desde el año 2016 desarrollando el proyecto ESPACIO SiAR, en el marco de su Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR).

El proyecto ESPACIO SiAR integra los datos procedentes de las estaciones del SiAR del MAPA, ubicadas en las principales zonas regables, con las secuencias temporales de imágenes de los satélites Landsat 8, Sentinel 2A y Sentinel 2B, con el objetivo principal de realizar un seguimiento mediante teledetección de los cultivos que permita determinar con la mayor precisión posible las necesidades hídricas de los cultivos, para emplear el agua necesaria en el momento preciso, lo que llevará a un ahorro de agua y energía y, por otra parte, a la obtención de un rendimiento óptimo de los cultivos, teniendo en cuenta los cambios tecnológicos que está incorporando el sector agroalimentario en la actualidad.

## 2. METODOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS BÁSICOS

El procesado de las imágenes de satélite, cuyo fin es obtener series multitemporales, supone una de las bases sobre la que construir los productos finales, con los que monitorizar las superficies en regadío y estimar sus necesidades hídricas. Se especifica a continuación la metodología empleada durante el procesado de las imágenes en el proyecto ESPACIO SiAR, para obtener los siguientes productos básicos:

- El índice de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)
- Imagen de combinación color (nombrada en adelante RGB)
- Coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) sin nubes y sombras

### 2.1. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DEL PROCESADO

En la figura siguiente, se muestra el diagrama de flujo del procesamiento básico de imágenes propuesto, para los satélites Sentinel – 2.

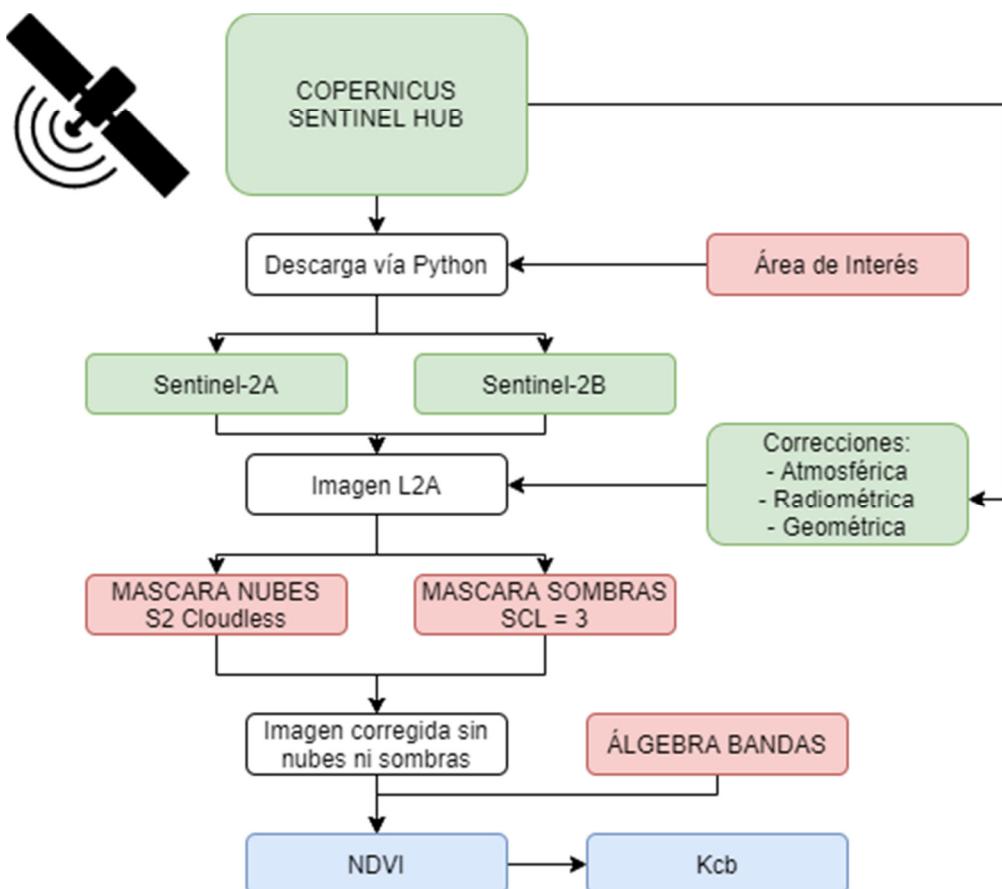


Figura 6. Diagrama del procesamiento básico de imágenes de los satélites Sentinel – 2 (S2)

## 2.2. DIMENSIÓN DEL PROCESADO, ÁMBITO ESPACIAL Y TEMPORAL

El ámbito espacial comprende toda la superficie del territorio español, mientras que el ámbito temporal se corresponde con el año 2019. Su ejecución está centrada en el seguimiento de las superficies regables.

La información agrometeorológica necesaria para la ejecución del proyecto se adquiere principalmente de la red de estaciones SiAR, sin embargo, en aquellas comunidades autónomas donde no están presentes las estaciones de SiAR, la información necesaria se ha recopilado de otras redes de estaciones agrometeorológicas disponibles: RuralCat (Cataluña), Euskalmet (País Vasco) y la red SiAR de La Rioja. Además se han utilizado los datos de precipitación de las estaciones de AEMET para mejorar la precisión en la interpolación de esta variable.

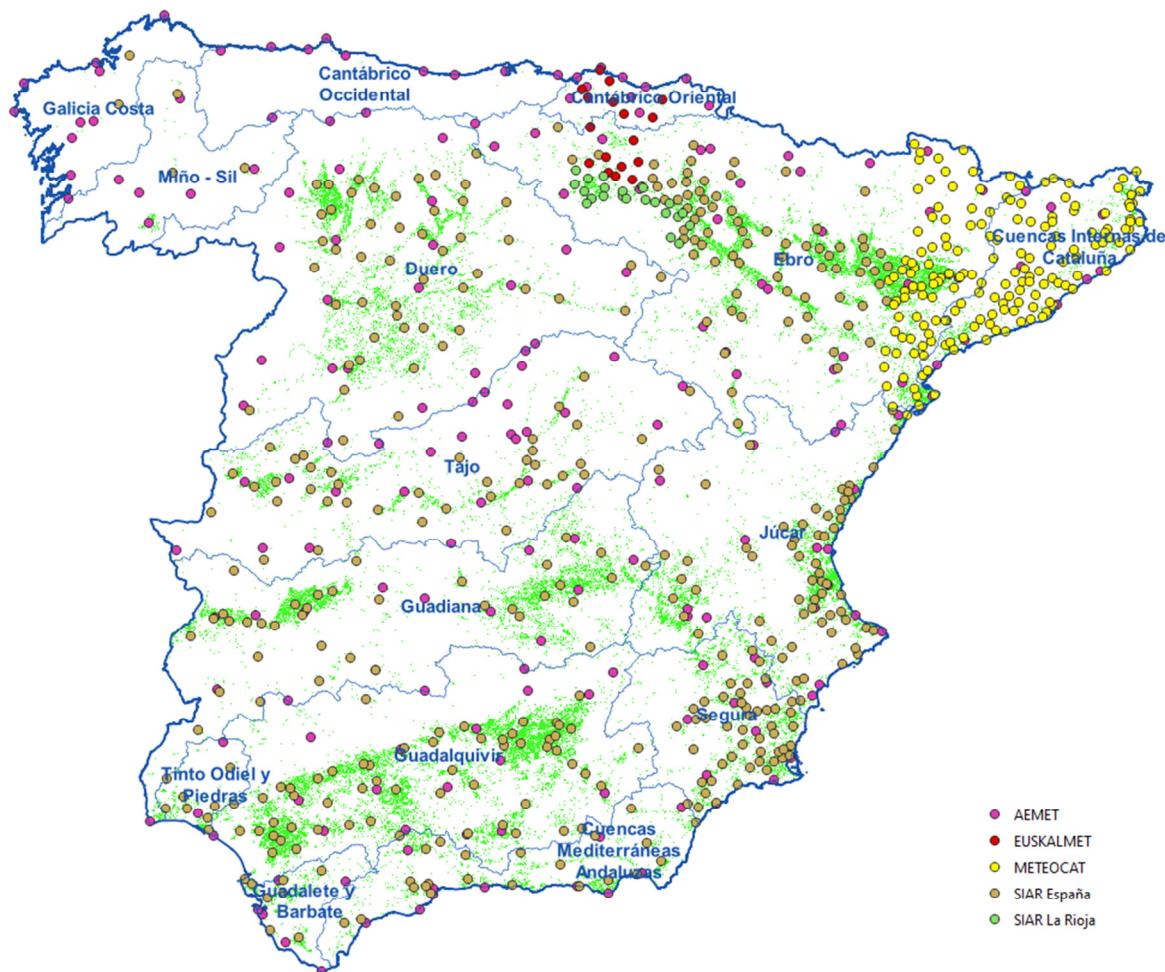


Figura 7. Ámbito espacial. Demarcaciones hidrográficas de la península Ibérica (línea azul), zonas regables (polígonos verdes) y estaciones del agrometeorológico.

## 2.3. IMÁGENES EMPLEADAS

Para el cálculos de las necesidades hídricas se han empleado imágenes del satélite Sentinel – 2 (S2A y S2B) que permiten disponer de la la cobertura temporal suficiente a una resolución espacial muy pequeña, para obtener los índices derivados. Las imágenes del satélite Landsat 8 se han procesado únicamente a modo de consulta en el visor SIG de ESPACIO SiAR.

La misión Sentinel-2 es una colaboración entre la Agencia Espacial Europea (ESA), la Comisión Europea, los proveedores de servicios de la industria y los usuarios de datos. Sentinel-2 ofrece imágenes ópticas de alta resolución ideales para monitoreo terrestre, respuesta a emergencias y servicios de seguridad. La constelación Sentinel-2 incluye dos satélites: Sentinel-2A se lanzó el 23 de junio de 2015 y Sentinel-2B siguió el 7 de marzo de 2017. Estos dos satélites juntos proporcionan cobertura global de la superficie de la tierra cada cinco días.

A continuación en la siguiente tabla, se hace referencia a los detalles de los satélites y los sensores utilizados:

**Tabla 8.** Descripción general de los satélites empleados.

Satélite	Landsat 8 OLI	Sentinel – 2A MSI	Sentinel – 2B MSI
<b>Barrido</b>	180 x 180 Km (sin dividir, la imagen completa forma lo que la NASA llama escena)	290 x 290 Km (dividido en gránulos de aproximadamente 100 x 100 km)	290 x 290 Km (dividido en gránulos de aproximadamente 100 x 100 km)
<b>Bandas espectrales y longitud de onda central (nm)</b>	8 bandas + Pancromática NIR: 864,67 Rojo: 654,59 Verde: 561,41	13 bandas NIR: 835,1 Rojo: 664,5 Verde: 560,0	13 bandas NIR: 833,0 Rojo: 665,0 Verde: 559,0
<b>Resolución espacial</b>	30 m	10, 20 y 60 m (según las bandas. ESPACIO SiAR emplea aquellas a 10 m de resolución espacial)	10, 20 y 60 m (según las bandas. ESPACIO SiAR emplea aquellas a 10 m de resolución espacial)
<b>Tiempo de revisita</b>	16 días	10 días	10 días

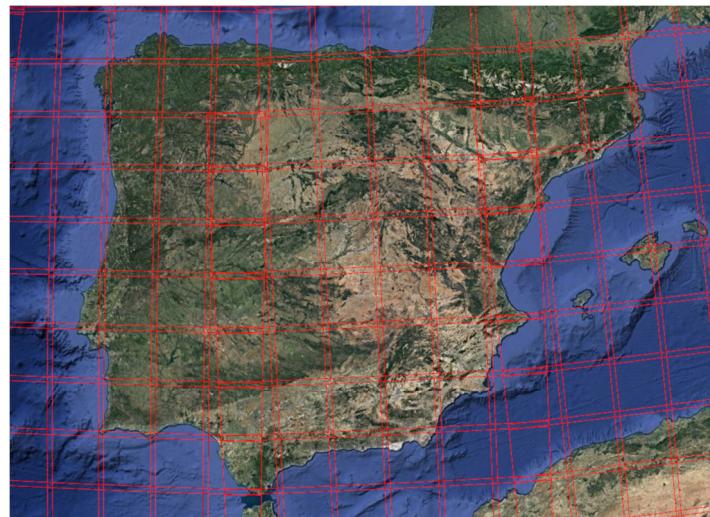


Figura 8. Gránulos Sentinel 2-A para el territorio peninsular y Balear

## 2.4. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes de satélite multiespectrales Sentinel-2 son la fuente principal de imágenes procesadas. Éstas se descargan directamente de la página (<https://www.sentinel-hub.com/>) a través de una API.

Para la descarga de imágenes, se establecen unos parámetros fijos: el porcentaje cubierto por nubes se fija en el rango (100%), ya que se descargarán todas las imágenes disponibles para un punto determinado (posteriormente se seleccionarán las imágenes válidas con la máscara de nubes y sombras); el sensor (Sentinel-2) y el tipo de producto, de tal manera que nos devuelva todos los productos, tanto el nivel 1C como el 2A.

Estas imágenes contienen la totalidad de bandas por separado en formato .jp2 con una proyección UTM y un dátum WGS84. Éste varía desde el 32630 de la península al 32631/32630 de Baleares y al 32628/32627 de Canarias. Las bandas necesarias para el cálculo del NDVI a 10 metros (4 y 8), así como la banda SCL\_20 derivada del Sen2Cor serán transformadas a .tif y reproyectadas a los siguientes códigos EPSG:

- EPSG 25830 en península: ETRS89 UTM 30 (sistema de referencia oficial en la Península)
- EPSG 25828 en Canarias. ETRS89 UTM 28
- EPSG 25831 en Baleares. ETRS89 UTM 31

Por otro lado, la diferente configuración geométrica de iluminación entre las tomas de Sentinel-2 debida a la variación en la altura del sol dependiendo de la época del año y de los ángulos azimutal y cenital solar causa un desplazamiento de los ejes x e y, así como objetos con

diferentes sombras. En la literatura se han desarrollado numerosas aproximaciones para asegurar que cada par de coordenadas analizadas en una imagen adquirida en una fecha en concreto se corresponda con el par de coordenadas de otra imagen de una fecha diferente. Para poder resolver esta casuística, se ha empleado una detección de cambios en la geometría de las imágenes a través de las frecuencias calculadas por el algoritmo *Fastest Fourier Transform in the West* (FFTW), y la correlación de sus frecuencias por fases para generar el *cross-power spectrum*, que muestra la posición del pixel coincidente en forma de pico afilado (Figura 16). De esta manera se procede a mover los puntos acorde a la imagen de referencia.

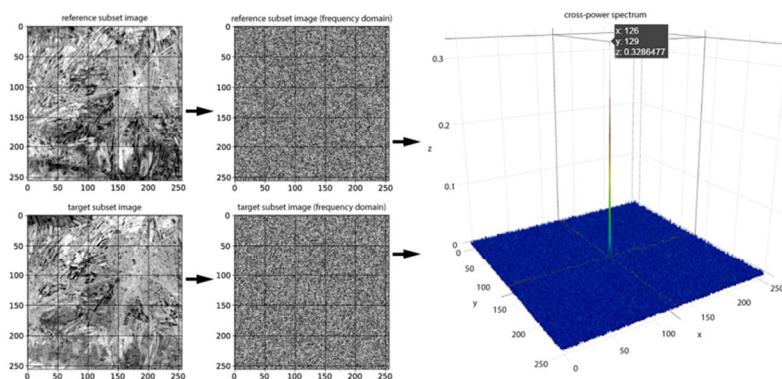


Figura 9. Co-registración temporal de imágenes Sentinel2

## 2.5. CORRECCIONES

La imagen Sentinel-2 L2A, presenta reflectividades a nivel de superficie (BoA), este producto está atmosféricamente corregido), por lo que no necesita ningún tipo de corrección adicional. También presenta otro tipo de correcciones geométricas (generación de una imagen de referencia global, calibración absoluta del plano focal para la banda de referencia y el resto, etc.) y radiométricas (calibración de la señal negra, calibración de las ganancias relativas, la calibración radiométrica absoluta, etc.). Siempre que ha existido este nivel de procesado, se ha empleado ya que ha simplificado y agilizado los procesos y trabajos con información de satélite.

En caso de que haya un producto L1C y L2A para una fecha, se escoge el L2A, ya que, tal y como se ha mencionado anteriormente es un producto depurado con reflectividades a nivel de superficie presentando valores libres de efectos atmosféricos, ya que han sido corregidos mediante el algoritmo MAJA.

En caso de no disponer de algún producto L2A, se aplica un método (Sen2Cor o Py6S en un flujo directo de Python) que compense o elimine los efectos atmosféricos de la imagen L1C, devolviendo valores de 0 a 1, de tal manera que dichos valores puedan ser comparables en diferentes áreas y/o fechas.

La corrección atmosférica adoptada en el caso de no disponer productos L2A, consiste en un método de normalización absoluta basada en la corrección de las series de imágenes en una

imagen que se considera como referencia. La reflectividad de cada banda del sensor es corregida en función de superficies consideradas invariantes (Schroeder et al., 2006), o los índices de vegetación son corregidos en base a esas superficies (Chen et al., 2005).

Para corregir estos datos son necesarios los siguientes datos de entrada:

- Aerosol Optical Thickness (estación AERONET más cercana <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/> ).
- Columna de vapor de agua y ozono a 550 nm (consultas a la API de ECWMF para la fecha determinada).
- Factor de respuesta espectral de cada banda de Sentinel-2.
- Latitud y longitud de la escena.
- Fecha de adquisición (hora, día, mes y año).
- Ángulo azimutal, cenital solar, azimutal satelital y el ángulo cenital satelital.

## 2.6. PROCESADO DE LA MÁSCARA DE NUBES / SOMBRA

### 2.6.1. SENTINEL 2

Para alcanzar el objeto principal del proyecto, es necesario generar una serie temporal de NDVI que no tenga ningún píxel con valores anómalos de respuesta espectral que describa la cubierta objeto de análisis. La literatura muestra multitud de técnicas para enmascarar los valores inválidos, no sólo de nubes, sino también de otras variables que puedan afectar (sombras, agua, etc.).

Existen diferentes métodos para la extracción de nubes de las imágenes, con resultados mas o menos eficientes. La capa QA-20 que ofrece los archivos comprimidos descargados desde la plataforma Sentinel-Hub. Sin embargo, los resultados ofrecen tasas de éxito menores al 70%.

#### 2.6.1.1 CLASIFICACION DE LA ESCENA: MÓDULO Sen2Cor

Sen2Cor (<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>), produce un algoritmo de enmascaramiento de nubes, sombras y otras entidades (agua, nieve, etc.) mediante la información de las bandas en reflectividades a nivel de techo de atmósfera (ToA por sus siglas en inglés), cuya banda 10 (Cirrus), supone el input fundamental para detectar nubes. Así, esta máscara produce una clasificación completa de la escena de Sentinel-2 con 11 clases, entre las que se encuentran:

- 0) No Data

- 1) Pixel defectuoso
- 2) Píxeles de áreas oscuras
- 3) Sombras de nubes
- 4) Vegetación
- 5) Suelo desnudo
- 6) Agua
- 7) Baja probabilidad de nubes
- 8) Media probabilidad de nubes
- 9) Alta probabilidad de nubes
- 10) Cirros
- 11) Nieve

Este algoritmo establece un árbol de decisión con numerosas ramas con las que se pretende discriminar, en base al uso de todas las bandas e índices espectrales (índices de seguimiento de la biomasa -NDVI- y de cobertura nival -NDSI-) y rangos de valores, todas las clases arriba descritas.

La metodología aplicada consiste en extraer los valores únicamente de las clases 4 (vegetación) y 5 (suelo desnudo), ya que son las clases más restrictivas y, por tanto, más “válidas”. Si bien el porcentaje de acierto se encuentra claramente por encima del 90%, con algún error aislado principalmente en bordes de masas nubosas, estelas y algunos cirros, el principal problema radicaba en el enmascaramiento erróneo de superficies (Figura 17). Esto generaba un déficit de píxeles que influían determinantemente en la generación de la serie temporal de NDVI y, por tanto, en las necesidades finales de riego. Algunas superficies como tejados eran sistemáticamente enmascaradas en cualquier fecha, propiciando que los píxeles de alrededor se vieran afectados. Debido a estas limitaciones que ponían en riesgo la consecución del proyecto, se exploraron otras opciones de enmascaramiento de nubes, descartando las clases 7, 8, 9,10 del Sen2Cor



Figura 10. Píxeles enmascarados incorrectamente como nubes

### 2.6.1.2 CLASIFICACIÓN DE LA ESCENA: MÓDULO *Sen2Cloudless*

Debido a las limitaciones mencionadas en apartados anteriores, se han utilizado otras opciones que fueran más específicas en la detección de nubes y proporcionasen mayores porcentajes de éxito. Se han utilizado opciones más innovadoras y avanzadas que permiten obtener un mejor enmascaramiento de nubes. El detector de nubes para imágenes Sentinel-2 de Sentinel Hub (máscaras S2Cloudless) es un algoritmo que se basa en técnicas de machine learning (segmentación semántica utilizando redes neuronales convolucionadas) a nivel de píxel.

Este algoritmo se ha mostrado como una alternativa mucho más robusta, que confunde menos las nubes con otras superficies. (<https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13>)

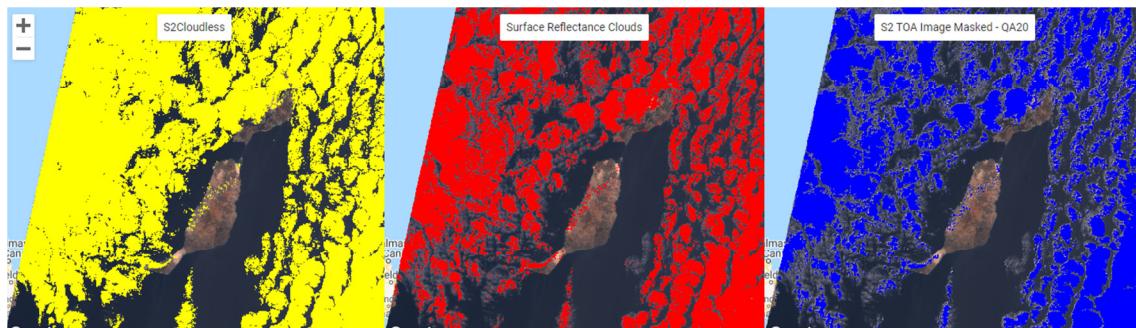


Figura 11. Comparativa entre técnicas con Google Earth Engine

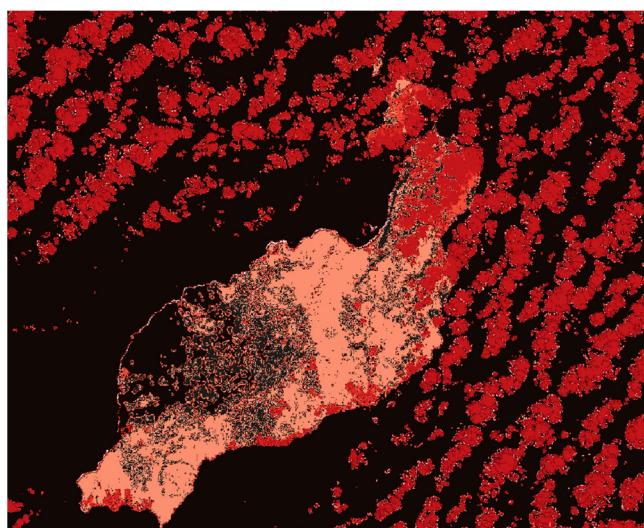
### 2.6.1.3 SELECCIÓN DE CATEGORÍAS Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁSCARA DE NUBES Y SOMBRAS (MSN)

Tras la categorización de cada escena en base a la lista presentada en el anterior punto, se ha optado por emplear tres máscaras diferentes:

- Máscara de nubes:
  - Sen2Cloudless
- Máscara de sombras:
  - Clase 3: píxeles con presencia de sombras procedentes de las nubes.
- Máscara de otras coberturas:
  - Clase 0: píxeles sin datos.
  - Clase 1: píxeles saturados o defectuosos.
  - Clase 2: píxeles en la zona oscura.
  - Clase 6: píxeles con presencia de agua.
  - Clase 11: píxeles con presencia de nieve.

Con el objetivo de generar un margen de seguridad sobre aquellos píxeles bajo influencia de nubosidad o sombras, se establece un área de influencia de 10 metros sobre la máscara de nubes extraída de Sen2Cloudless, y de 20 metros en la máscara de sombras.

En el caso concreto de Canarias, se ha modificado ligeramente la metodología para obtener píxeles válidos que estaban siendo enmascarados. Esto sucede en Lanzarote y Fuerteventura, dos islas con roca volcánica muy oscura ocupando casi la totalidad de la superficie, en las que automáticamente la clase 6 (agua), la clase 2 (dark area) y 3 (sombras) aparecen indistintamente en roca volcánica al desnudo. Por tanto, se ha modificado la máscara, habilitando estas tres opciones para estas dos islas.



**Figura 12.** En negro las clases agua (6), dark area (2) y sombras (3). Sobre Timanfaya Sen2Cor clasifica constantemente como agua el núcleo central, así como Dark Area y sombras en los alrededores prácticamente para la totalidad de imágenes disponibles

#### 2.6.1.4 APLICACIÓN DE LA MÁSCARA AL NDVI: CONSTRUCCIÓN DEL NDVI LIBRE DE NUBES Y SOMBRA

El resultado final de la máscara concretada es un ráster con dos valores ([0,1]) para cada fecha en la que hay escena de Sentinel-2. Antes de generar la serie temporal de NDVI para un píxel concreto, se enmascaran todos los valores que son inválidos de todas las escenas disponibles de Sentinel-2. Una vez validado, se generan las series temporales.

## 2.7. PROCESADO DE NDVI

Los índices de vegetación se pueden definir como combinaciones de bandas espectrales, cuyo objetivo es el de realzar la contribución de la vegetación fotosintéticamente activa en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores como el suelo en el que se asienta, las condiciones de iluminación solar, restos de vegetación seca y la atmósfera. El índice de vegetación por diferencias normalizado, NDVI, definido por la Eq. 1 (Rouse et al., 1973) es, con mucho, el índice de vegetación más usado en las aplicaciones de la Teledetección

Resaltar que el NDVI es el índice de vegetación sobre el que más experiencia se ha acumulado en la descripción de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal, lo que constituye un argumento adicional en su favor como índice adoptado. Por otro lado, sus valores oscilan entre -1 y +1, lo que ayuda en su interpretación. El NDVI presenta las ventajas de una gran sencillez de cálculo, facilita la interpretación directa de los parámetros biofísicos del cultivo, dada la gran cantidad de experiencia acumulada en su uso, y permite, por tanto, la comparación entre datos obtenidos. Así pues, combinando la reflectividad en las bandas del rojo e infrarrojo cercano, se calcula un mapa de NDVI combinando algebraicamente las bandas según la ecuación Eq. 1. Operando de esta forma, para cada fecha de la que dispongamos de imagen podemos disponer de mapa de NDVI, con lo que finalmente podríamos disponer de una secuencia temporal de mapas de NDVI.

Eq. 1

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

NIR es la reflectividad en el infrarrojo cercano (banda 5 en L8, y banda 8 en S2), y R es la reflectividad en el rojo (banda 4 en L8 y S2), en el ancho de banda correspondiente. En consecuencia con las resoluciones espaciales de las bandas empleadas se obtienen imágenes NDVI a 10m de resolución espacial si se emplea S2, e imágenes NDVI a 30m de resolución espacial si se emplea L8.

## 2.8. PROCESADO DE RGB

Las combinaciones color, generalmente llamadas RGB, es un importante instrumento que permite el análisis visual de la dinámica de las superficies estudiadas. Por tanto se presta especial atención a la generación de combinaciones fácilmente interpretables y comparables en el tiempo. La combinación propuesta es la adecuada para la monitorización de la vegetación y de las prácticas agrícolas.

En Landsat 8, se utiliza la banda espectral del infrarrojo medio (B6) en el canal del rojo, la banda espectral del infrarrojo cercano (B5) en el canal del verde y la banda espectral del rojo

(B4) en el canal del azul. Por otro lado, en Sentinel – 2 (S2A + S2B), se utiliza la banda espectral del SWIR (B11) en el canal del rojo, la banda del infrarrojo cercano (B8) en el canal del verde y por último la banda espectral del rojo (B4) en el canal del azul. Las imágenes de color RGB de Landsat 8 están obtenidas a 15 m de resolución espacial tras un proceso de fusión, mientras que las de Sentinel – 2 lo están a 10m.

Estas combinaciones resultan ser fácilmente interpretables puesto que permite distinguir la vegetación fotosintéticamente activa (colores verdes brillantes), el suelo desnudo (colores ocres) y la vegetación natural (verde oscuro). Las combinaciones RGB obtenidas se procesan para obtener una visualización adecuada sin necesidad de aplicar ninguna modificación posterior del histograma.

## 2.9. PROCESADO DE IMÁGENES COEFICIENTE BASAL DE CULTIVO (Kcb)

La generación de imágenes denominadas coeficiente basal de cultivo es otro de los productos básicos que se obtienen mediante el procesado de las imágenes de satélite. Para su generación se emplean relaciones lineales con los índices de vegetación obtenidos desde imágenes de satélite, ya demostradas y validadas en numerosos cultivos desde que en 1989 se publicase el primer estudio que relacionaba el Kcb con el NDVI (NDVI-Kcb). Resaltar que las imágenes Kcb obtenidas se basan en las imágenes NDVI tras aplicar la máscara de nubes y sombras. Su construcción está basada en la Eq. 6 (Campos et al., 2010d).

Eq. 2

$$Kcb = 1,44 \cdot NDVI - 0,1$$

## 2.10. INTEGRACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO

Debido a que gran parte del desarrollo del proyecto se basa en la iteración de varios procesos, se han desarrollado cuatro códigos independientes para la automatización de los siguientes procedimientos:

- Descarga y construcción de una base de datos climáticos que aúne la información de todas las fuentes utilizadas, a través de una serie de consultas a las API de las fuentes de datos vía Python
- Interpolación diaria de los datos climáticos recopilados, recorriendo la base de datos agroclimática produciendo un archivo ráster por día y parámetro.
- Descarga automática de imágenes Sentinel-2 (así como controles de calidad para evitar que alguna imagen estuviese corrupta), máscara de nubes y sombras y cálculo de NDVI.

- Balance hídrico y estimación de las necesidades hídricas por píxel, construyendo al finalizar los mapas finales de necesidades hídricas, evapotranspiración del cultivo ajustada y el agotamiento el último día del año.

La ejecución de estos *scripts* se realiza en el orden presentado, ya que los archivos generados durante los procesos automatizados de interpolación de datos agroclimáticos y la construcción de la serie multitemporal de NDVI son integrados en Datacube, el cual conforma la estructura de datos necesaria para finalmente ejecutar el código desarrollado para el cálculo del balance hídrico y obtener los productos derivados.

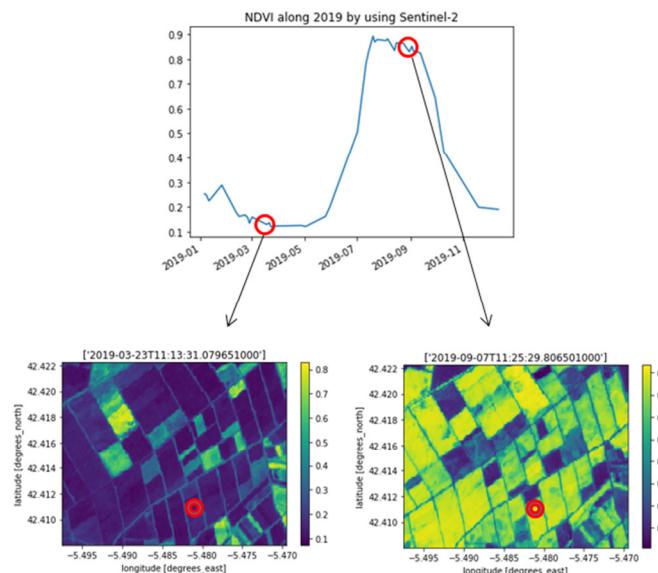
### 2.10.1. CONSTRUCCIÓN DEL DATACUBE

Una vez obtenidas todas las imágenes Sentinel 2A y 2B normalizadas y coincidentes en posición, se almacenaran de forma controlada y homogénea, tanto las imágenes como los metadatos, en una base de datos en PostgreSQL.

Para ello, se dispondrá de la librería Open Data Cube de Python desarrollada por el Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) y los institutos australianos CSIRO y NCI (para más información: <https://github.com/opendatacube>). Se ha desarrollado un script que transforma los metadatos originales (.SAFE en el caso de Sentinel) a un archivo .xml con una estructura específica que se ingesta en el Datacube. A su vez, éste utiliza consulta la ubicación de las imágenes y las características de las mismas vía nuevos metadatos. Para este proyecto, también se ha seguido la misma metodología de almacenamiento de rásters y metadatos. Se ha generado una base de datos con 365 rásters (uno por cada día) para cada variable meteorológica (Evapotranspiración y Precipitación).

Las tres bases de datos en PostgreSQL suponen tres inputs así como los parámetros edáficos (un ráster de capacidad de campo y otro de profundidad máxima de raíces) y el ráster de tipo de cultivos (valores de 1 a 11 por las clases que son). Dado que la capacidad de los ordenadores para cargar los datos almacenados en el Datacube es limitada, se ha tileado el ráster de tipos de cultivo en tiles de 25x25 kilómetros. La metodología de procesado se basa en la lectura píxel a píxel del ráster de tipos de cultivo, sacando las coordenadas del centroide para la posterior consulta del valor de las otras variables de entrada. A partir de esto, se genera una serie de NDVI para cada píxel y, teniendo en cuenta el valor que muestra cuál es el tipo de cultivo, se corre el modelo FAO-56. De este modelo se obtienen los valores de necesidades de riego mensual y anual, así como el valor del agotamiento en el último día del año (necesario para correr el modelo el año siguiente), además de los valores de la evapotranspiración del cultivo ajustada. Los resultados se almacenan en matrices que se exportan como rásters en el sistema de proyección del proyecto. En total, se exportan 875 rásters (son los que conforman la totalidad de la península) para la evapotranspiración ajustada, las necesidades de riego y el agotamiento, mensual y anual para los dos primeros. Para Baleares se han generado y

procesado 19 tiles de 25x25 kilómetros y para Canarias 36, obteniendo los mismos outputs en 32 Bits.



**Figura 13.** Consultas al Datacube (I): cálculo de series temporales de NDVI. Consultas al Datacube (II): generación de cartografía de NDVI por fechas.

## 2.11. DETALLE DE LAS IMÁGENES PROCESADAS EN FECHAS Y PRODUCTOS

El número total de imágenes procesadas en la campaña 2019 es de 15.782 (considerando todos los granulos de solape y zonas de cambio de huso en Sentinel).

En campañas anteriores se procesaron 3.528 imágenes para el año 2016 (entre Landsat 8 y Sentinel – 2A), 8.417 imágenes en 2017 para los mismos satélites más Sentinel – 2B y 8.833 imágenes en 2018.

En cuanto al satélite Landsat 8 se han procesado un total de 48 escenas diferentes, mientras que en relación al satélite Sentinel – 2 (S2A + S2B) han sido 106 gránulos diferentes.

En detalle, el año 2016 se procesaron 620 imágenes Landsat 8 y 2.908 Sentinel – 2A. A su vez, en 2017 se procesaron 756 imágenes Landsat 8, 5.049 fueron procesadas del satélite Sentinel – 2A y 2.612 del satélite Sentinel – 2B. En el año 2018, 1.095 imágenes Landsat 8 y 7.738 imágenes Sentinel 2 (sumando sensores 2A y 2B ya plenamente operativos).

En la siguiente tabla se muestran en detalle las imágenes procesadas para todas las campañas. Destacar, que para cada imagen se procesan 3 productos: imágenes NDVI, imágenes RGB e imágenes Kcb.

**Tabla 9.** Resumen de las imágenes procesadas.

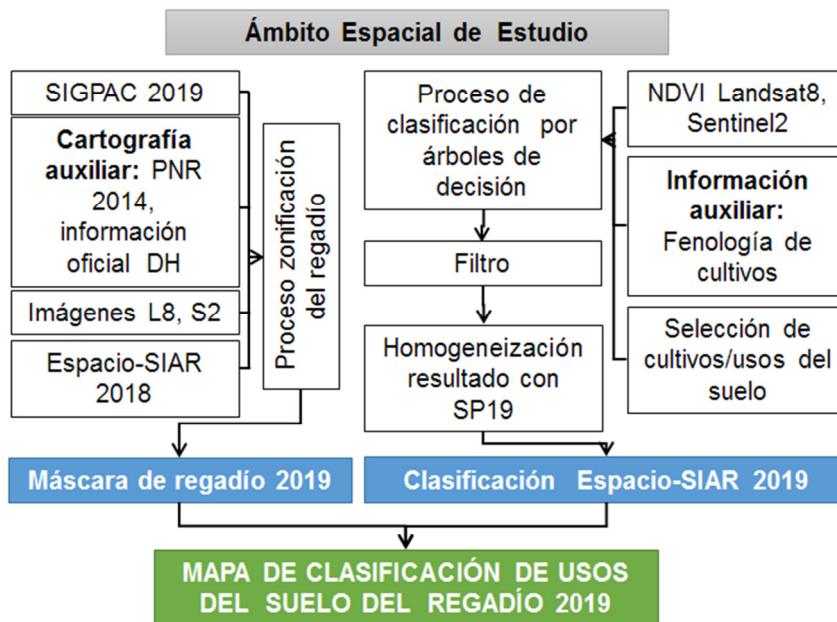
AÑO	IMÁGENES				
	LANDSAT8	SENTINEL 2A	SENTINEL 2B	TOTAL SENTINEL 2	TOTAL
2016	620	2.908		2.908	3.528
2017	756	5.049	2.612	7.661	8.417
2018	1.095			7.738	8.833
2019	1.316			14.466	15.782

### 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EN EL PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO MEDIANTE RECURSOS DE TELDETECCIÓN Y APOYO CARTOGRÁFICO

A continuación, se especifican las características técnicas empleadas en el proceso de clasificación de usos del suelo mediante teledetección y apoyo cartográfico. El objetivo principal es obtener la clasificación de usos de suelo en regadío, para poder realizar un seguimiento de los cultivos en regadío.

#### 3.1. ESQUEMA GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN

El procedimiento se basa en la combinación de la clasificación basada en secuencias multitemporales de imágenes de satélite, junto con el análisis e integración de múltiples fuentes cartográficas mediante herramientas SIG (Figura 14.). Esto nos llevará a obtener un mapa anual de cultivos regados agrupados en clases para cada uno de los años del estudio.



**Figura 14.** Diagrama de flujo del proceso de clasificación.

### 3.2. MATERIAL EMPLEADO EN LA CLASIFICACIÓN

Imágenes utilizadas:

- Secuencias temporales de imágenes NDVI Landsat 8 y Sentinel – 2 (S2A + S2B) correspondientes a cada una de las escenas y/o gránulos que abarcan la zona de estudio.

Fuentes cartográficas:

- Cartografía, tanto gráfica como de la base datos alfanumérica de los recintos SIGPAC, proporcionada por el FEGA
- Zonas regables correspondientes al PNR 2014
- Capa de regadío Espacio-SiAR 2018
- Información oficial disponible de distintas Demarcaciones hidrográficas empleada para la depuración de la máscara de regadío

Fuentes alfanuméricas:

- Superficies de regadío provincial extraídas de la encuesta ESYRCE 2019 empleadas para el contraste de resultados de la capa de regadío Espacio-SiAR 2019

### 3.3. MATERIAL EMPLEADO EN LA OBTENCIÓN DE LAS DIFERENTES CLASES

En la campaña 2019 se ha procedido a una mayor desagregación de clases que en campañas anteriores para caracterizar con más detalle la temporalidad del regadío español. Estas clases desagregadas se pueden agrupar para hacer posible la comparativa con campañas anteriores.

Se detalla en la siguiente tabla, los usos del suelo discriminados mediante la clasificación desarrollada.

**Tabla 10.** Usos del suelo clasificados así como su leyenda y descripción.

CULTIVOS EN REGADÍO	CLASES 2018		CLASES 2019		DESCRIPCION
HERBACEOS	PRIMAVERA		PRIMAVERA		Desarrollo fenológico centrado en primavera
			PRIMAVERA-OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en primavera-otoño
	VERANO		VERANO		Desarrollo fenológico centrado en verano
			VERANO-OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en verano-otoño
	PRIMAVERA-VERANO		PRIMAVERA-VERANO		Desarrollo fenológico centrado en primavera-verano
			ANUAL		Desarrollo fenológico elevado todo el año
	OTOÑO		OTOÑO		Desarrollo fenológico centrado en otoño
LEÑOSOS	Viñedo (VR)				Diferentes especies vitivinícolas.
	Olivar (OR)				Diferentes especies oleícolas.
	Cítricos (FC)				Diferentes especies de árboles cítricos.
	Frutales (FR)				Diferentes especies de árboles frutales.
	Invernadero	Invernaderos (INV)			Agricultura bajo invernaderos.

Atendiendo a la discriminación de clases presentada en la anterior tabla, se muestra a continuación la metodología empleada para la obtención de las diferentes clases del mapa de usos del suelo.

**Tabla 11.** Metodología empleada para la obtención de las diferentes clases.

USOS DEL SUELO	METODOLOGÍA
Cultivos herbáceos en regadío	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Clasificación supervisada por árboles de decisión basada en series multitemporales de NDVI</li> <li>– Empleo de cartografía disponible: SIGPAC 2019, PNR 2014, y cartografía oficial publicada de DH.</li> </ul>
Cultivos leñosos en regadío e invernaderos	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Empleo de cartografía disponible: SIGPAC 2019, PNR 2014, y cartografía oficial publicada de DH.</li> <li>– Uso auxiliar de imágenes de satélite para depuración de resultados</li> </ul>

### 3.4. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA POR ÁRBOLES DE DECISIÓN

El conocimiento de la evolución temporal de las diferentes cubiertas vegetales ha sido el instrumento esencial en la identificación de los cultivos de regadío. Las diferentes fases de desarrollo se expresan habitualmente a través de las curvas de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), que a su vez están estrechamente relacionados con la fracción de cobertura vegetal verde, y cuyos valores máximos coinciden con los momentos en que el cultivo cubre en mayor medida el suelo.

La magnitud que se deriva de las imágenes multiespectrales de satélite y que está directamente relacionada con la fracción de cobertura vegetal verde ( $fc$ ) es el denominado Índice de Vegetación por Diferencias Normalizado (NDVI). Así, al utilizar una secuencia temporal de imágenes multiespectrales, la evolución temporal del NDVI derivado de ellas permite describir la evolución temporal de la cubierta vegetal. Por lo tanto, se puede hacer el seguimiento mediante el NDVI libre de nubes y sombras de las diferentes fases de desarrollo en el crecimiento del cultivo. Resaltar que, aquellos cultivos que presenten similar evolución fenológica y de cobertura del suelo, presentarán similar evolución del NDVI. En consecuencia, aplicando estos conceptos, la discriminación se hace entre grupos de cultivos que presentan una evolución temporal diferente. Esto presenta una importante ventaja: aquellos cultivos con semejante evolución temporal en desarrollo y cobertura vegetal, tienen semejantes necesidades hídricas.

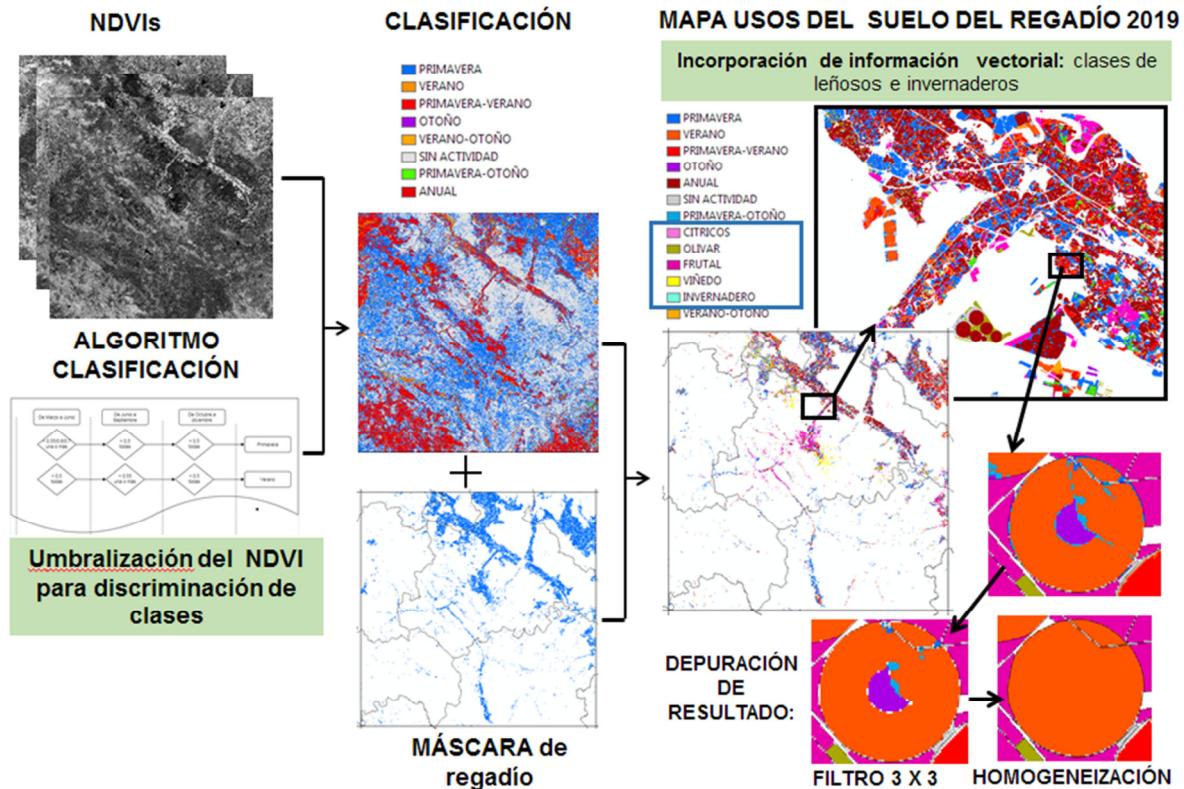


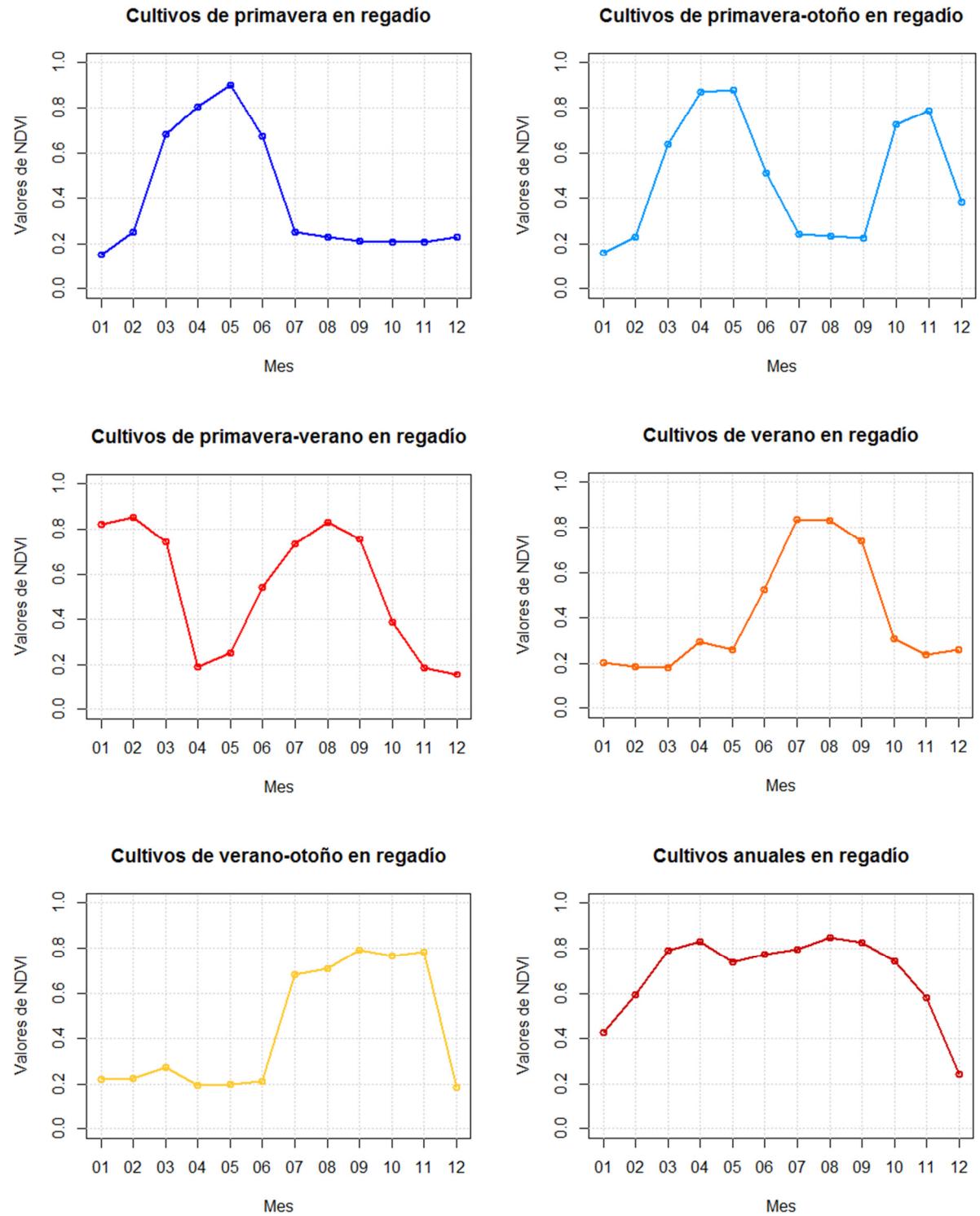
Figura 15. Esquema general del proceso de clasificación.

Para la realización de las clasificaciones utilizaremos los procesos de clasificación basados en clasificadores secuenciales en árbol (árboles de decisión). El primer paso requiere una recopilación de toda la información disponible de tipo vectorial (SIGPAC...), así como de la secuencia temporal de imágenes NDVI libres de nubes y sombras disponibles de nuestra zona de clasificación y para el año de estudio.

Seguidamente, el procedimiento consiste en separar los píxeles de la escena a clasificar según unas reglas de clasificación basadas en las secuencias temporales antes mostradas. En consecuencia, se busca discriminar por fechas y valores NDVI los diferentes usos en regadío. Además, la información alfanumérica contenida en la información vectorial es así mismo empleada para determinar las zonas regables.

### 3.5. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE EVOLUCIÓN DE NDVI PARA DIFERENTES USOS DEL SUELO

Puesto que una parte importante del proceso de clasificación se realiza atendiendo a las curvas multitemporales de evolución de NDVI, se muestran las curvas típicas para cada uso de suelo clasificado, obtenidas en el proyecto ESPACIO SiAR (Figura 16. ) los gráficos que se muestran a continuación).



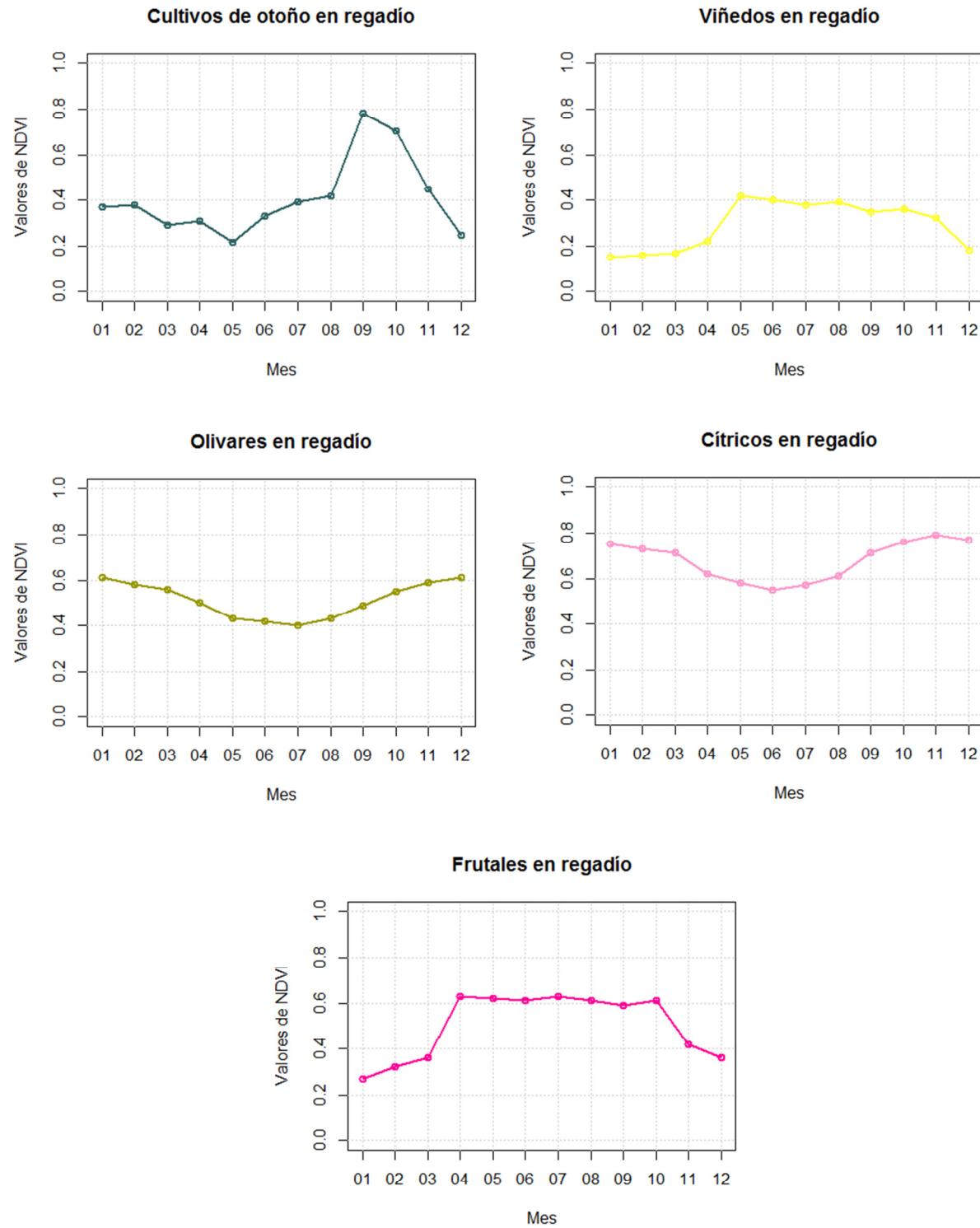


Figura 16. Curvas características de los diferentes usos de suelo en regadío clasificados.

### 3.6. INCORPORACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DISPONIBLE

A continuación, se detalla la metodología seguida en la extracción de los polígonos posteriormente incorporados a la clasificación. Se trata de información cartográfica, SigPAC y zonas regables. A partir de la información alfanumérica, se extraen los códigos que se muestran en la tabla, a continuación.

**Tabla 12.** Usos SIGPAC para la clasificación.

Usos de suelo clasificados	Código SIGPAC
<b>Regadío de primavera</b>	TA: Tierra Arable, TH: Huerta (regadío) y PA: Pasto
<b>Regadío de verano</b>	arbolado (regadío), PR: Pasto arbustivo (regadío) y PS: Pastizal (regadío)
<b>Regadío de primavera-verano</b>	
<b>Regadío de otoño-invierno</b>	
<b>Viñedo</b>	CV: Asociación cítricos-viñedo, FV Frutos secos y viñedo, VF: viñedo frutal, VI: viñedo, VO: Viñedo-Olivar COEF_REGAD > 0
<b>Olivar</b>	FL: Frutos secos y viñedo, OC: Asociación olivar-cítricos, OF: Olivar-frutal, OV: Olivar COEF_REGAD > 0
<b>Cítricos</b>	CF: Asociación cítricos-frutales, CI: Cítricos, CS: Asociación cítricos- frutales de cascara COEF_REGAD > 0
<b>Frutal</b>	FF: Asociación frutales- frutales de cascara, FS: Frutos secos, FY: Frutales COEF_REGAD > 0
<b>Invernaderos y cultivos bajo plástico</b>	IV: Invernaderos

Los polígonos extraídos de la cartografía vectorial SigPAC son los recintos correspondientes a todas las provincias de la España Peninsular, los cuales contienen los campos identificadores de: provincia, municipio, agregado, polígono, zona, parcela, recinto, coeficiente de regadío (“COEF\_REGAD”) y uso2019 (“USO\_SIGPAC”). Los recintos extraídos de la cartografía SigPAC, son polígonos que se encuentren en regadío.

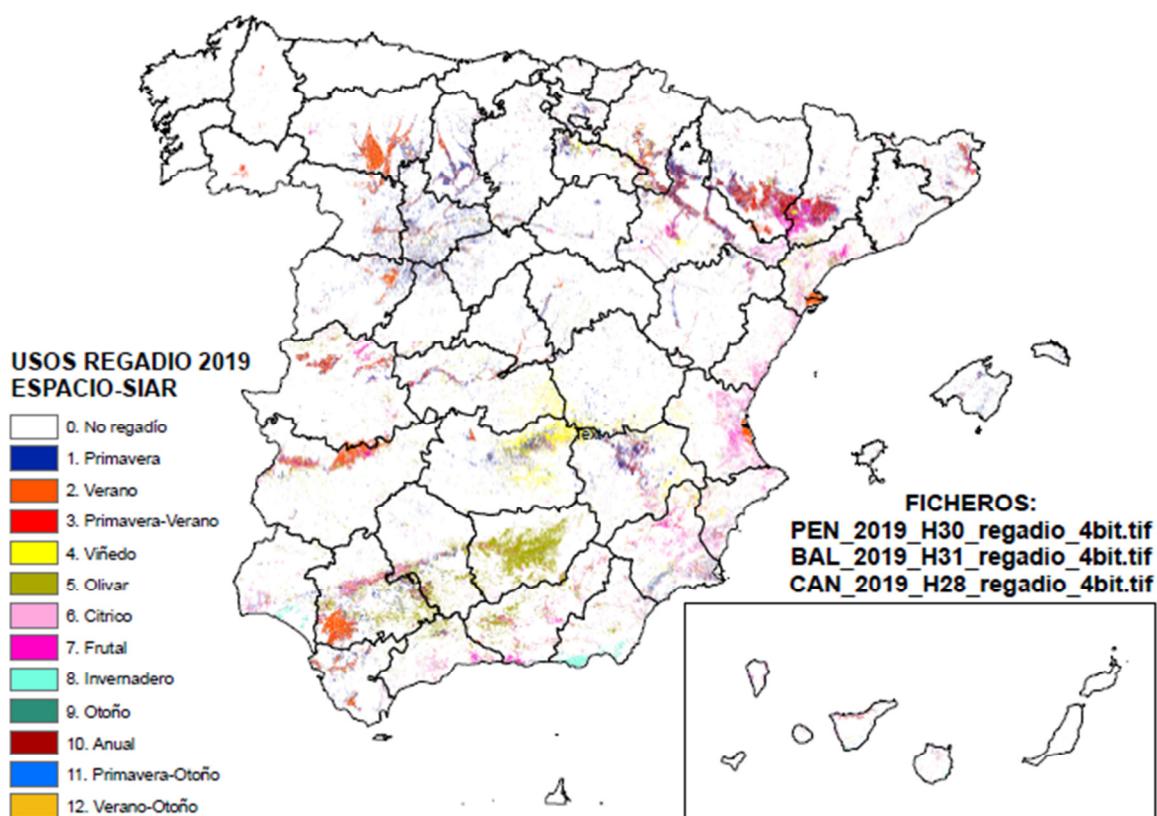
Como capa base de la clasificación, se utiliza la capa resultante de la selección del regadío de SIGPAC 2019, los recintos de Sigpac2019 que presentan actividad alta en verano y están localizados dentro de la máscara del PNR 2014 y otros recintos inventariados como regadíos en la información auxiliar disponible que se comprueba que tienen actividad compatible con el uso regadío por fotointerpretación con las imágenes de satélite.

### 3.7. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN DE USOS DE SUELO EN REGADÍO

Los resultados obtenidos tras el proceso de clasificación asistida por Teledetección y recursos cartográficos son:

- Imágenes de la zona de estudio, año 2019
- Agregación de los resultados de superficie en riego por demarcación hidrográfica (ver Tabla 14)

**Tabla 13.** Codificación de los ficheros de usos del suelo en regadío entregados.



**Tabla 14.** Superficie regada (ha) por usos y demarcaciones hidrográficas en 2019.

Demarcación hidrográfica	Primavera	Verano	Prim-Ver	Otoño	Viñedo	Olivar	Cítricos	Frutales	Inv.	TOTAL 2019
<b>C. INTERNAS CATALUÑA</b>	15.706	12.483	16.708	443	2.012	9.536	878	22.579	870	<b>81.215</b>
<b>C. MED. ANDALUZAS</b>	8.810	3.873	3.600	2.359	1.994	43.951	19.194	33.966	34.974	<b>152.721</b>
<b>CANARIAS</b>	3.304	593	5.267	180	1.120	78	1.066	7.361	7407	<b>26.377</b>
<b>CANTÁBRICO OCCIDENTAL</b>	0	51	617	0	1	0	0	231	121	<b>1.021</b>
<b>CANTÁBRICO ORIENTAL</b>	12	85	785	0	62	7	0	3.499	199	<b>4.649</b>
<b>DUERO</b>	247.504	185.370	56.929	3.486	9.532	723	0	3.785	273	<b>507.601</b>
<b>EBRO</b>	223.100	146.939	206.190	2.393	42.047	48.178	7.399	133.382	707	<b>810.333</b>
<b>GALICIA-COSTA</b>	14	31	1.636	0	174	5	0	33	115	<b>2.007</b>
<b>GUADALETE Y BARBATE</b>	18.992	21.450	5.404	126	340	6.643	767	959	853	<b>55.534</b>
<b>GUADALQUIVIR</b>	86.654	118.796	19.612	2.280	2.692	524.648	42.416	50.496	7.485	<b>855.079</b>
<b>GUADIANA</b>	87.334	98.303	11.000	2.593	173.784	44.501	4.782	31.716	927	<b>454.940</b>
<b>ISLAS BALEARES</b>	9.717	920	2.112	677	237	316	1.090	1.285	223	<b>16.577</b>
<b>JÚCAR</b>	62.909	41.436	22.166	4.412	39.874	10.976	150.512	39.346	1377	<b>373.007</b>
<b>MIÑO-SIL</b>	644	3.278	5.343	2	121	3	0	1.385	47	<b>10.824</b>
<b>SEGURA</b>	24.344	16.010	9.596	11.380	22.265	16.409	54.439	46.284	5229	<b>205.954</b>
<b>TAJO</b>	49.734	42.743	34.656	2.848	9.534	31.715	8	22.903	168	<b>194.309</b>
<b>TINTO, ODIEL Y PIEDRAS</b>	2.249	319	255	41	65	4.210	13.787	3.813	8758	<b>33.498</b>
<b>TOTAL</b>	<b>841.027</b>	<b>692.680</b>	<b>401.875</b>	<b>33.220</b>	<b>305.855</b>	<b>741.899</b>	<b>296.339</b>	<b>403.022</b>	<b>69.733</b>	<b>3.785.648</b>



## 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y METODOLÓGICAS EN EL PROCESO DE SIMULACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DIARIAS.

A continuación, se especifican las características técnicas empleadas en el proceso de simulación de las necesidades hídricas, así como la metodología implícita en la simulación, esto es, el modelo FAO-56 de coeficiente dual asistido por satélite.

### 4.1. ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MODELO EMPLEADO.

#### 4.1.1. *El modelo FAO-56 de coeficiente dual.*

El modelo FAO-56 de Coeficiente Dual trata sobre el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ETc) tanto bajo condiciones estándar, es decir cuando no existen limitaciones al crecimiento del cultivo o la evapotranspiración (Allen et al., 1998), o bajo condiciones de estrés, ET actual, o simplemente ET. Este modelo estima la ET a través del producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de cultivo (Kc) (Allen et al., 1998b; Doorenbos and Pruitt, 1977), separando este último como la suma del coeficiente de cultivo basal (Kcb), relacionado con la transpiración de la planta, y el coeficiente de evaporación (Ke), relacionado con la evaporación del suelo (Wright, 1982; Allen et al., 1998). Además, el Kc incorpora el coeficiente de estrés hídrico (Ks) para simular bajo condiciones diferentes a las óptimas. En resumen, la ecuación empleada es:

$$ET_c = K_c \cdot K_s \cdot ETo = (K_s K_{cb} + K_e) \cdot ETo \quad \text{Eq. 7}$$

#### 4.1.2. *Asimilación del coeficiente de cultivo basado en reflectividad.*

La obtención del Kcb basado en la reflectividad espectral de la cubierta, es posible y ha sido ensayado y demostrado en numerosas ocasiones (Campos et al., 2010d; González-Piqueras, 2006). Por tanto, la obtención de coeficientes de cultivo, en nuestro caso Kcb, derivados de las imágenes de satélite, nos permite acceder al modelo FAO-56 de Coeficiente Dual y estimar por último las necesidades hídricas de los cultivos en suelo, sin tener que recurrir a los valores tabulados propuestos en la metodología clásica.

Tras el procesado de las imágenes y consecución de los productos de IV, fundamentales para estimar los Kcb, seremos capaces de representar las evoluciones temporales monitorizando así la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia (ETc/ETo). De esta forma, se obtendrán mapas de coeficiente de cultivo basal de imágenes satelitales.

#### 4.1.3. *Cultivos en condiciones no estándar. Balance de agua en la capa de suelo.*

Hemos visto, por tanto, que obtener la ET bajo condiciones estándar (sin limitaciones al crecimiento o la evapotranspiración), es posible a través de las técnicas de teledetección. En general, y en concreto en los cultivos herbáceos, es usual aplicar el agua necesaria para mantener el techo de transpiración. Sin embargo, para determinar el momento de aplicar el agua es necesario determinar el umbral en que el cultivo entra en estrés. En algunos cultivos como la viña, a diferencia de otros, es bien conocido el incremento de la calidad del fruto cuando la planta transpira en ciertas fases del ciclo de crecimiento a un ritmo menor del máximo que la cubierta vegetal puede transpirar, esto es, cuando se induce en la planta un cierto grado de estrés hídrico. La metodología utilizada mantiene el procedimiento utilizado en el manual FAO56 para cuantificar el papel del agua en el suelo.

En algunos casos y cultivos, cuando el contenido de agua en la capa de suelo cae por debajo de un cierto umbral, que puede variar de unos grupos de cultivo a otros, la energía potencial del agua en el suelo cae por debajo de cierto valor umbral, y la planta es incapaz de extraer el agua suficiente para mantener el ritmo de transpiración, por lo que se dice que el cultivo está en estrés hídrico. Los efectos del estrés hídrico son incorporados al multiplicar en el modelo de Coeficiente Dual, el  $K_{cb}$  por el coeficiente de estrés hídrico ( $K_s$ ) (Allen et al., 1998), de la siguiente forma:

$$ET_{cag} = (K_s \cdot K_{cb} + K_e) \cdot ET_o \quad \text{Eq. 8}$$

La Figura 17. presenta la relación del coeficiente de estrés con el contenido de agua en suelo, y por tanto permite establecer el momento en que es necesario aplicar el riego en función del agotamiento de agua, bien para impedir que el cultivo entre en estrés, bien para mantener el estrés en los niveles deseados, actuación que se suele denominar riego deficitario controlado.

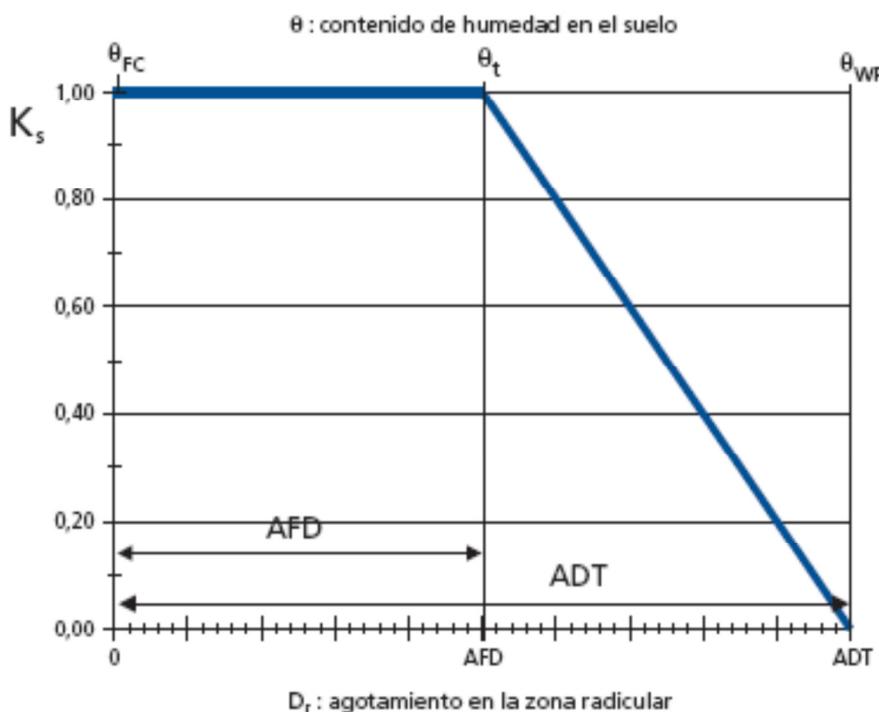


Figura 17. Coeficiente de estrés hídrico,  $K_s$  (Allen et al., 1998).

De forma numérica, el manual FAO 56 propone la siguiente ecuación 9 para determinar el coeficiente de estrés,  $K_s$ , lo que permite a HidroMORE incorporar los valores estándar de p establecidos para los diferentes grupos de cultivo.

$$K_s = \frac{ADT - D_r}{ADT - AFA} = \frac{ADT - D_r}{(1 - p) \cdot ADT} \quad \text{Eq. 9}$$

Donde:

$K_s$  es un factor adimensional de reducción de la transpiración que depende de la cantidad de agua disponible en el suelo [0 - 1],

$D_r$ , es el agotamiento de humedad en la zona radicular [mm],

$ADT$ , es el agua disponible total en la zona radicular del suelo [mm],

$AFA$ , es el agua fácilmente asimilable por las raíces de las plantas [mm],

$p$ , es la fracción de la  $ADT$  que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico [-]

#### 4.1.4. Componentes del balance de agua en el suelo: las necesidades de agua de riego

Conocidos diferentes parámetros necesarios para estimar la ET, las necesidades hídricas de los mismos estarán ligadas además de a su evapotranspiración al contenido de humedad en el suelo en la zona radicular. Atendiendo a la siguiente es posible diferenciar los diferentes componentes que actúan en el balance de agua.

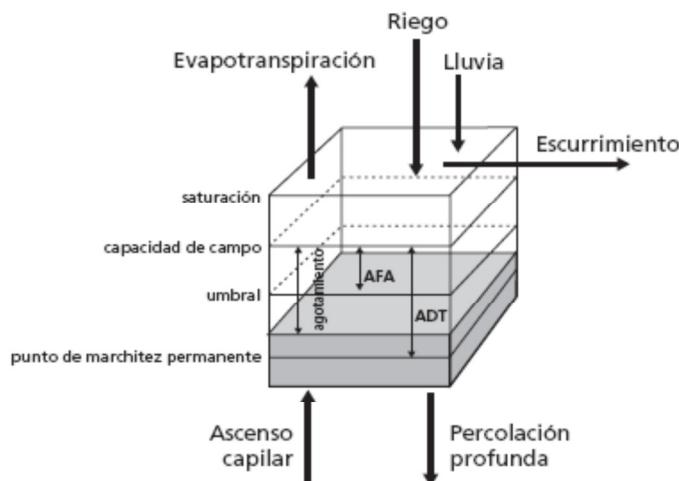


Figura 18. Balance de agua en la zona radicular (Allen et al., 1998)

Según la metodología FAO-56, algunos de estos componentes (procesos de evaporación, transpiración del cultivo y pérdidas por percolación) aumentan el agotamiento de agua, mientras que la precipitación, el ascenso capilar o riego, disminuyen el agotamiento de agua en el suelo. Este balance, ha de ser calculado diariamente mediante:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO_i) - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad \text{Eq. 10}$$

Donde:

$D_{r,i}$ , es el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día  $i$  [mm],

$D_{r,i-1}$ , es el contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior,  $i-1$  [mm],

$P_i$ , es la precipitación en el día  $i$  [mm],

$RO_i$ , es el escorrentimiento superficial en el día  $i$  [mm],

$I_i$ , es la lámina neta de riego en el día  $i$  que infiltra en el suelo [mm],

$CR_i$ , es el ascenso capilar proveniente de la mesa de agua subterránea en el día  $i$  [mm],

$ET_{c,i}$ , es la evapotranspiración del cultivo en el día  $i$  [mm],

$DP_i$ , las pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día  $i$  [mm],

Por todo ello, las necesidades de riego obtenidas al aplicar la ecuación 7 tienen como objetivo principal la aplicación del agua en suelo en el momento preciso y con la cantidad precisa. Mediante el cálculo del balance diario del agua presente en la zona radicular del suelo se pueden planificar las láminas y los momentos de aplicación del riego. Para evitar el estrés hídrico se debe aplicar el riego antes, o en el momento, de agotarse la lámina de agua fácilmente extraíble del suelo ( $D_{r,i} \leq AFA$ ). Por otra parte, para evitar pérdidas por percolación que puedan producir el lavado de importantes nutrientes de la zona radicular, la lámina neta de

riego deberá ser menor o igual que el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo ( $l_i \leq D_{r,i}$ ).

## 4.2. MATERIAL DE ENTRADA

El flujo de trabajo desarrollado, es un modelo que permite la estimación diaria de la evapotranspiración y necesidades hídricas de los cultivos, así como la recarga del suelo, integrando los datos satelitales, agro meteorológicos, edáficos y de cultivo anteriormente descritos, definidos en el modelo de coeficiente dual FAO-56 (Allen et al., 1998).

El balance de agua en suelo incorpora la precipitación registrada, y permite determinar el coeficiente de estrés y el coeficiente de evaporación desde el suelo desnudo, el cual a su vez considera el sistema de riego utilizado y la frecuencia de aplicación. Este balance requiere del conocimiento de la cantidad máxima de agua que puede almacenar la capa de suelo donde se alojan las raíces, que a su vez depende de la profundidad de raíces y de la capacidad de retención de agua del suelo. Finalmente, se determina la necesidad de agua de riego a aplicar para mantener un coeficiente de estrés adecuado.

A nivel de procesado, por necesidades de rendimiento y de la capacidad de procesamiento de los equipos disponibles, los mapas de tipo de cultivos han sido divididos en pequeños cuadrantes o tiles de  $25 \text{ km}^2$ .

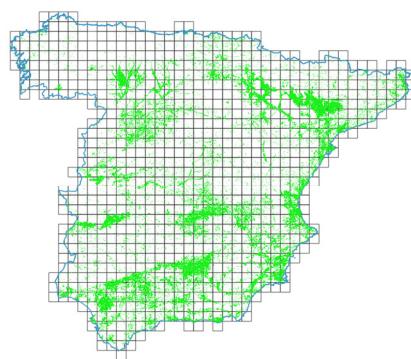


Figura 19. Tileado de los usos del suelo

Al dividir el territorio de esta manera, es posible crear varios conjuntos de datos independientes, permitiendo así ejecutar el proceso en varios equipos, disminuyendo así el tiempo de procesado.

A continuación se muestran todos los parámetros de configuración necesarios para la ejecución del código desarrollado:

Tabla 15. Parámetros de entrada en el modelo y sus fuentes de información.

PARAMETROS DE ENTRADA	FUENTE DE DATOS
Coeficiente basal de cultivo, Kcb (adimensional)	Secuencias temporales de imágenes NDVI procesadas desde la información proporcionada por el satélite Landsat 8, Sentinel – 2A y Sentinel – 2B
Fracción de suelo cubierta por la vegetación, fcv (adimensional)	
Mapa anual de usos del suelo en regadío	Clasificación temporal supervisada basada en secuencias temporales de imágenes NDVI y cartografía de apoyo
Precipitación diaria, P (mm/día)	Redes agroclimáticas de la Red nacional SiAR (MAPA, 2019), Rural Cat (2019), SiAR La Rioja <sup>1</sup> (Rioja, 2019), Euskalmet (2019 – No todas las estaciones) y AEMET (2019- únicamente P)
Evapotranspiración de referencia diaria, ETo (mm/día)	
Capacidad de campo, Θcc ( $m^3/m^3$ )	European Soil Database (ESDB) v2.0 (Panagos et al., 2012) y European Soil Derived Data (Hiederer, 2013)
Punto de marchitez, Θcc ( $m^3/m^3$ )	
Profundidad del suelo, Zmax (m)	
Fracción de agotamiento permisible por tipo de uso en regadío, p (adimensional) <sup>2</sup>	
profundidad radicular mínima por tipo de uso en regadío, Zr min (m)	
profundidad radicular máxima por tipo de uso en regadío, Zr max (m)	
Coeficiente de estrés por tipo de regadío <sup>3</sup> , Ks (adimensional)	Manual FAO-56 (Allen et al., 1998a)
Dosis máxima de riego por tipo de uso en regadío, R (mm/d)	
fracción de suelo mojada por lluvia o riego por tipo de uso en regadío, fw (adimensional)	
Periodo de riego por tipo de uso en regadío (días)	

1. Información climática generada por el Gobierno de La Rioja. Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Acceso público y gratuito a través de la web: <http://www.larioja.org/siar>

2. Adoptamos un parámetro *p* estándar de 0,5 para cítricos y frutales, 0,7 para viña y olivo y 0,55 para cultivos herbáceos

3. Aplicamos un coeficiente de estrés de 0,5 para la viña y olivo

### 4.3. RESULTADOS DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS POR DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS

En este apartado se presentan los resultados anuales y mensuales de las necesidades netas de riego (sin tener en cuenta las diferentes eficiencias), obtenidas tras realizar el balance de agua en el suelo asistido por teledetección espacial y temporalmente distribuido. Además, en el visor Web ESPACIO SiAR se puede acceder a las series temporales de necesidades de riego agregadas mensualmente.

Los resultados se entregan en dos formatos:

- Capas correspondientes a los valores agregados mensuales y al acumulado anual de la zona de estudio, año 2019, cargadas en la página web de ESPACIO SiAR.
- Agregación de los resultados de necesidades netas de riego por demarcación hidrográfica (ver Tabla 16 y 20).

**Tabla 16.** Volumen neto anual de riego (hm<sup>3</sup>/año) originado por demarcaciones hidrográficas en 2019

Demarcación Hidrográfica	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> )
	2019
Ebro	3.952
Guadalquivir	2.482
Duero	2.036
Guadiana	1.489
Júcar	1.292
Tajo	921
Segura	575
Cuencas Med. Andaluzas	474
Cuencas Internas de Cataluña	306
Guadalete y Barbate	246
Tinto, Odiel y Piedras	119
Tenerife	70
Islas Baleares	43
Miño – Sil	36
Gran Canaria	28
La Palma	27
Cantábrico Oriental	11
Galicia – Costa	6
La Gomera	6

Demarcación Hidrográfica	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> )
	2019
Cantábrico Occidental	4
El Hierro	2
Lanzarote	0,50
Fuerteventura	0,20
<b>TOTAL</b>	<b>14.125</b>

**Tabla 17.** Volumen de riego neto mensual (hm<sup>3</sup>/mes) en demarcación hidrográfica, 2019

Demarcación hidrográfica	Volumen de riego neto (hm <sup>3</sup> ) en 2019											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Ebro</b>	2,4	53,8	280,6	276,9	583,8	740,1	665,6	649,2	473,0	209,8	13,2	4,0
<b>Guadalquivir</b>	0,4	21,9	89,2	110,9	357,2	480,4	541,3	507,9	237,0	115,1	20,5	0,2
<b>Duero</b>	0,1	13,1	143,8	131,5	430,0	354,4	354,8	331,1	200,0	76,9	0,4	0,1
<b>Guadiana</b>	0,4	25,2	79,2	49,5	189,5	276,9	363,6	314,6	144,3	38,2	7,6	0,2
<b>Júcar</b>	3,8	17,3	71,3	38,1	162,6	286,9	295,7	245,9	64,9	51,1	52,0	2,4
<b>Tajo</b>	1,1	20,3	59,8	37,6	142,4	158,5	193,8	164,0	92,7	44,0	6,5	0,6
<b>Segura</b>	5,9	14,7	33,0	32,5	61,4	126,2	132,9	96,5	33,2	14,0	19,1	5,2
<b>Mediterráneas andaluzas</b>	0,8	3,4	18,9	25,7	85,8	89,3	90,1	79,2	32,2	32,6	14,2	1,8
<b>Internas de Cataluña</b>	0,5	9,6	24,5	14,7	34,6	61,5	58,8	57,4	25,2	18,4	0,6	0,2
<b>Guadalete y Barbate</b>	0,1	6,6	21,0	13,8	35,3	37,7	45,8	46,5	27,1	10,9	1,1	0,1
<b>Tinto, Odiel y Piedras</b>	0,0	0,5	2,7	3,9	21,0	21,5	21,6	22,3	14,3	8,4	2,8	0,3
<b>Tenerife</b>	0,5	2,9	4,6	4,7	9,7	9,8	10,1	10,0	7,8	4,6	2,7	2,7
<b>Islas Baleares</b>	0,0	1,7	7,0	6,8	7,0	6,1	5,5	4,5	2,1	2,3	0,1	0,1
<b>Miño-Sil</b>	0,0	0,0	1,4	0,4	4,7	4,4	11,4	8,2	4,2	0,7	0,0	0,0
<b>Gran Canaria</b>	0,0	0,5	2,1	2,8	4,5	3,7	3,6	3,7	2,8	2,1	1,1	0,7
<b>La Palma</b>	0,0	0,5	1,8	2,3	3,6	3,1	4,1	4,2	3,3	1,8	1,2	1,5
<b>Cantábrico oriental</b>	0,0	0,1	0,3	0,1	0,4	2,1	3,5	2,4	1,4	0,6	0,0	0,0
<b>Galicia Costa</b>	0,0	0,0	0,3	0,1	1,0	0,6	1,8	1,1	1,0	0,0	0,0	0,0
<b>La Gomera</b>	0,0	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3
<b>Cantábrico occidental</b>	0,0	0,0	0,3	0,1	0,4	0,6	0,8	0,9	0,4	0,2	0,0	0,0
<b>El Hierro</b>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Lanzarote</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>Fuerteventura</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>16,0</b>	<b>192,4</b>	<b>842,2</b>	<b>753,0</b>	<b>2.135,8</b>	<b>2.664,8</b>	<b>2.805,8</b>	<b>2.550,6</b>	<b>1.367,7</b>	<b>632,2</b>	<b>143,6</b>	<b>20,5</b>

#### 4.4. INTEGRACIÓN DE LA RED SiAR EN LA ESTIMACIÓN DIARIA DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS

En este apartado se realiza una referencia a las estaciones del SiAR del MAPA, la red SiAR de La Rioja y Metecoat, además de las integradas en Euskalmet, de donde se obtienen los parámetros de precipitación y evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) diaria, información imprescindible para la estimación de las necesidades hídricas netas de riego. Dichas redes de estaciones espacialmente distribuidas sobre el territorio nacional proporcionan a escala diaria ambos parámetros; su especial ubicación en las zonas regables hace que sus datos sean especialmente adecuados a los objetivos de determinación de las necesidades de agua y de riego de los cultivos.

Además de las redes de estaciones mencionadas, para la interpolación de la precipitación se han integrado los datos procedentes de las estaciones de AEMET.

En el trabajo se contó con un total de 880 estaciones repartidas sobre el territorio según la siguiente tabla (en el anexo 3 se recoge el listado de estaciones agro meteorológicas que se han tenido en cuenta para efectuar los cálculos en cada demarcación hidrográfica).

**Tabla 18.** Estaciones empleadas por demarcación hidrográfica y sistema de explotación.

Demarcación hidrográfica	Nº de estaciones
Ebro	218
Cuencas Internas de Cataluña	101
Júcar	77
Duero	74
Guadalquivir	72
Tajo	61
Segura	57
Guadiana	53
Canarias	48
Cuencas mediterráneas andaluzas	34
Cantábrico Oriental	19
Guadalete y Barbate	14
Galicia-costa	12
Tinto, Odiel y Piedras	11
Miño-Sil	10
Cantábrico Occidental	10
Baleares	9
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>880</b>

## 5. CONTROL DE CALIDAD SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El control de calidad sobre los resultados obtenidos, se ha realizado tomando 300 puntos de control (120 en península, 120 en Canarias y 60 en Baleares), espacialmente distribuidos e incluyendo todos los grupos de cultivos presentes en la clasificación de usos de suelo en regadío.

Sobre cada uno de los puntos de control se ha realizado manualmente todo el proceso necesario, para la determinación de las necesidades hídricas de los cultivos y los productos derivados.

### 5.1. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LOS VALORES DE NDVI

El control de calidad se ha basado en la comprobación de las curvas de NDVI para los puntos de control, verificándose que se corresponden con el cultivo clasificado y que los valores sospechosos corresponden a imágenes libres de nubes y sombras. Además se ha comprobado la interpolación de los valores de NDVI en las fechas sin imagen.

### 5.2. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LAS CAPAS DE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Se han comprobado los valores anuales de las capas de precipitación y  $ET_0$  en los puntos de control, verificándose que se han incluido todas las estaciones agrometeorológicas necesarias para la interpolación, desestimándose los datos erróneos procedentes de las estaciones y que la interpolación se ha realizado correctamente.

### 5.3. CONTROLES DE CALIDAD SOBRE LAS CAPAS DE NECESIDADES HÍDRICAS Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

El control se ha realizado mediante la ejecución del balance hídrico de forma manual sobre los 300 puntos de control, comprobándose que tanto los resultados finales de necesidades hídricas como su distribución temporal se corresponden con las capas generadas automáticamente. Este mismo proceso se ha realizado para las capas resultado de  $ET_c$ .

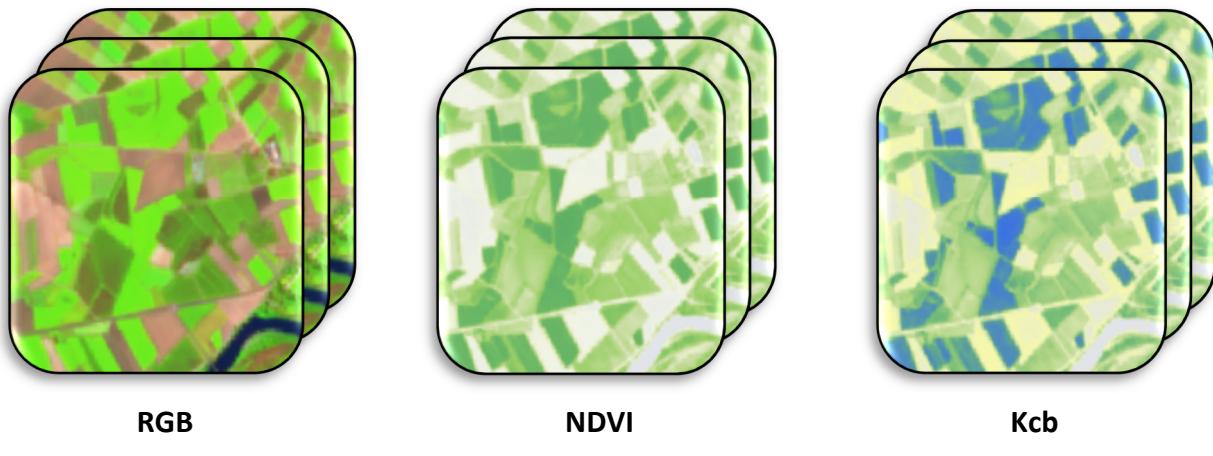
## 6. ACCESO A LAS SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS PRODUCTOS

Como se ha reseñado anteriormente, la consulta de los productos generados por el proyecto **ESPACIO SiAR** es libre y gratuita. Basta con acceder a través del visor Web SIG de ESPACIO SiAR.

Web ESPACIO SiAR	Web propia del SiAR
<a href="http://www.espaciosiar.es">www.espaciosiar.es</a>	<a href="http://www.siar.es">www.siar.es</a>

### 6.1. SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE.

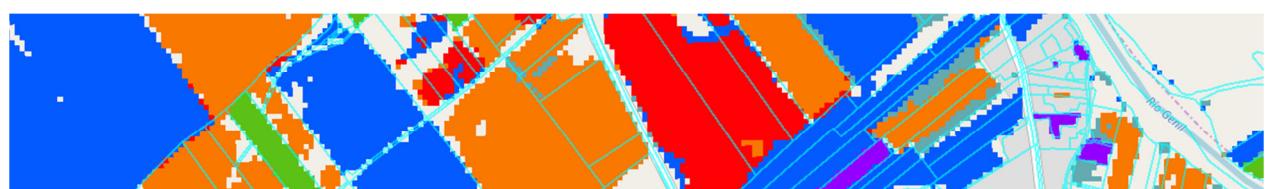
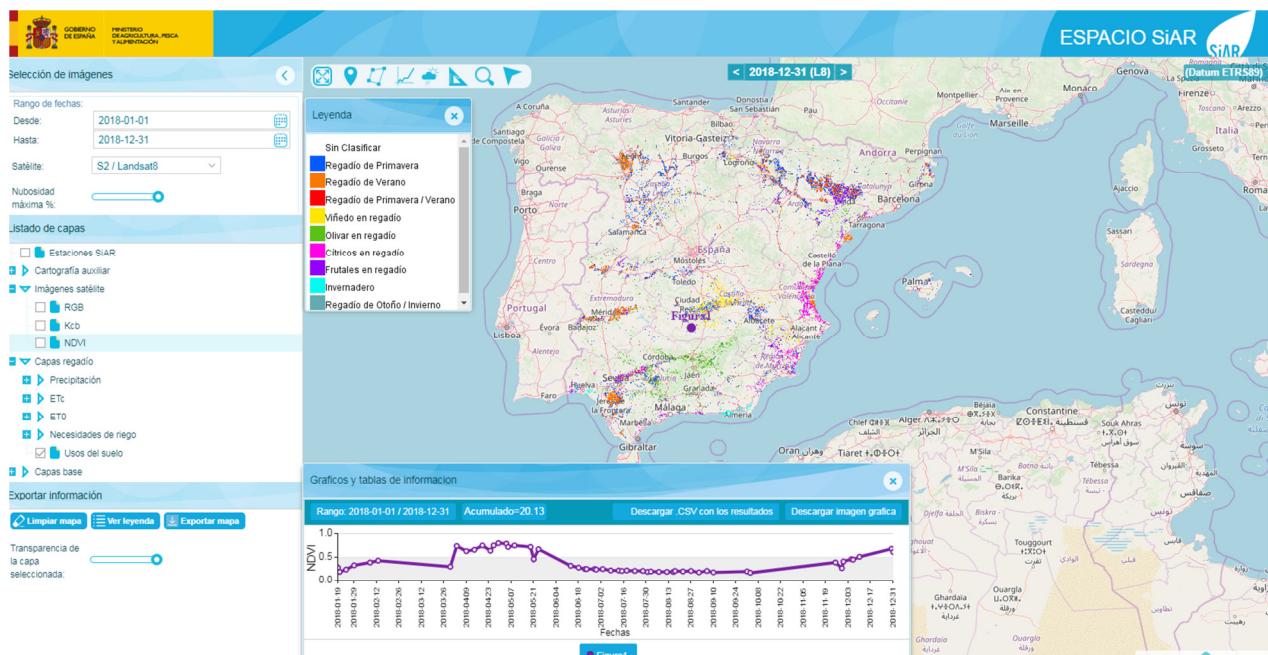
- **RGB**: secuencia temporal de imágenes combinación color.
- **NDVI**: secuencia temporal de imágenes de índice de vegetación NDVI sin nubes y sombras.
- **Kcb**: secuencia temporal de imágenes coeficiente basal de cultivo sin nubes y sombras.



**Figura 20.** Conjunto de productos básicos tras el procesado de las imágenes Landsat 8 y resolución espacial generados en ESPACIO SiAR

## 6.2. USOS DEL SUELO.

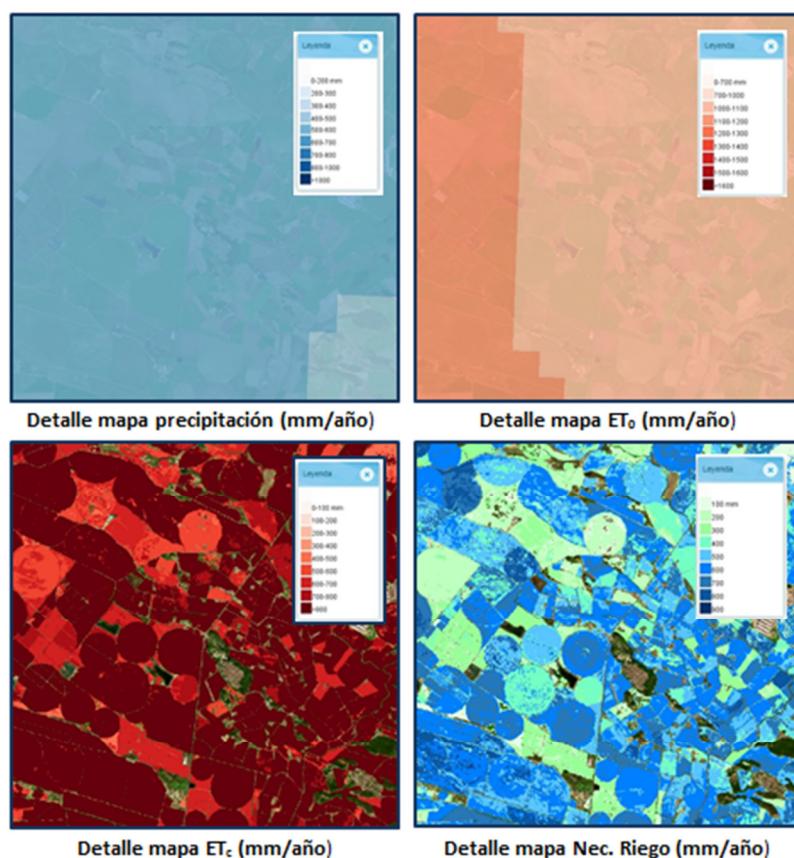
- **Usos del suelo [en regadío]:** mapas descriptivos de usos de suelo en regadío clasificados según la secuencia temporal de NDVI. Divididos en diferentes clases según la leyenda:



**Figura 21.** Imagen general y detalle de cómo se observan los distintos cultivos en regadíos según las clases de la leyenda en los mapas anuales de usos del suelo en regadío en ESPACIO SiAR

### 6.3. MAPAS TEMÁTICOS DE VARIABLES AGROCLIMÁTICAS Y BALANCE DE AGUA EN SUELO.

- **Evapotranspiración actual [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen las necesidades hídricas acumuladas mensual y anualmente de las cubiertas vegetales en regadío.
- **Necesidades netas de riego [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la dosis de riego neto acumulado mensualmente de las cubiertas vegetales en regadío.
- **Evapotranspiración de referencia [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la demanda evaporativa de la atmósfera acumulada mensual y anualmente.
- **Precipitación [mm/mes y mm/año]:** secuencia temporal de imágenes que describen la precipitación acumulada mensual y anualmente.



**Figura 22.** Imagen de cómo se observan los distintos cultivos en regadíos según las clases de la leyenda en los mapas anuales de usos del suelo en regadío

## 6.4. CARTOGRAFÍA AUXILIAR.

- **Red SiAR:** capa vectorial de puntos que indica la posición de cada estación agroclimática que forma parte del SiAR.
- **Demarcaciones hidrográficas:** Capa que contiene los límites de las Demarcaciones hidrográficas
- **Recintos SIGPAC:** Capa que contiene los recintos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas, SIGPAC. Esta capa únicamente es visible a un nivel de zoom de 200 m
- **Catastro:** Capa que contiene los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales
- **Nomenclador Geográfico:** Registro dinámico de información del Instituto Geográfico Nacional, que recoge las denominaciones oficiales referenciadas geográficamente que deben utilizarse en la cartografía oficial. Está constituido por la armonización del Nomenclátor Geográfico Básico de España y los Nomenclátores Geográficos de cada una de las Comunidades Autónomas
- **Divisiones Administrativas:** Unidades administrativas y límites administrativos de España con tres niveles de administración (comunidad autónoma, provincia y municipio) en función del zoom aplicado.
- **MTN IGN:** Mapa topográfico nacional procedente del instituto geográfico nacional. Las escalas representados en función del nivel de zoom son: 1:500.000, 1:200.000, 1:100.000 y 1:25.000.
- **Ortofotos (PNOA):** Imágenes procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 o 50 cm
- **Fechas Ortofotos:** Fecha de captura de las ortofotos
- **Open Street Map:** Mapa básico procedente de Open Street Maps

## 7. CONCLUSIONES

Gracias al proyecto ESPACIO SiAR, llevado a cabo por la Subdirección General de Regadíos, Caminos Naturales e Infraestructuras Rurales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA, el empleo de imágenes de satélite junto con la información ofrecida por el SiAR del MAPA permite conocer a escala de píxel la evolución de las cubiertas vegetales en regadío.

Toda la información generada por el proyecto ESPACIO SiAR se pone a disposición de los diferentes usuarios, tanto en el ámbito del sector agroalimentario como de la gestión de los recursos hídricos que realizan las administraciones públicas, de forma libre y gratuita en la página web del proyecto en el ámbito nacional.

El estudio de las secuencias temporales de Kcb aporta beneficios relevantes en diferentes niveles de gestión.

Por un lado, el regante o el asesor pueden ser capaces de monitorizar el estado de sus cubiertas vegetales en regadío y, estimar las necesidades hídricas de sus cultivos. Por otro lado, el gestor de una comunidad de regantes es capaz de acceder a valores promedio agregados a la escala espacial de la propia comunidad de regantes y efectuar la comparación con la de otras campañas de riego.

De manera adicional, la estimación de las superficies de los cultivos en regadío por demarcaciones hidrográficas y por comunidades autónomas, así como de sus necesidades hídricas netas, resultan de gran relevancia para la gestión de los recursos hídricos y la planificación estratégica que realizan las administraciones públicas, en el marco del ciclo de planificación hidrológica.

Por todo ello, se puede afirmar que el proyecto ESPACIO SiAR contribuye a la mejora de la eficiencia en el uso del agua del regadío y, por lo tanto, a la eficiencia energética, además de permitir una planificación adecuada de los recursos hídricos por parte de los gestores del agua, al contar con información espacialmente agregada de la situación y evolución de los cultivos en regadío sobre grandes áreas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998a. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Roma, Italy.
- Allen, R.G., 2011. Skin layer evaporation to account for small precipitation events—An enhancement to the FAO-56 evaporation model. Agricultural Water Management 99, 8-18.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management 98, 899–920.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998b. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., Makin, I.W., 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. Agricultural Water Management 46, 137-155.
- Calera, A., Castaño Fernández, S., Quintanilla, A., Odi, M., Belmonte, M., Arellano, I., Jiménez-Martínez, N., 2011. Estudio sobre la Evapotranspiración y el agua de Riego aplicada sobre las superficies de regadío mediante teledetección en los acuíferos sobreexplotados del Alto Guadiana. Años 2005, 2009 y 2010. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete, p. 131.
- Calera, A., Castaño Fernández, S., Quintanilla, A., Torres, E.A., Campos, I., Belmonte, M., Arellano, I., Garrido-Rubio, J., 2009a. Estudio sobre la Evapotranspiración y el agua de Riego aplicada sobre las superficies de regadío mediante teledetección en las masas 04.04 y 04.06. Alto Guadiana. Años 2007 y 2008. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete, p. 98.
- Calera, A., Garrido-Rubio, J., Saiz, J., Sánchez, J., 2009b. Interpolación normalizada de imágenes procedentes de múltiples sensores. Sección de Teledetección y SIG. IDR-Albacete (UCLM). Albacete, p. 48.
- Calera, A., Jochum, A., García, A., Rodríguez, A., Fuster, P., 2003. Irrigation management from space: Towards user-friendly products. Irrig Drainage Syst 19, 337-353.
- Calera, A., Vela Mayorga, A., Castaño Fernández, S., 1999. GIS tools applied to the sustainable management of water resources: Application to the aquifer system 08-29. Agricultural Water Management 40, 207-220.
- Campos, I., Calera, A., Balbontín, C., Torres, E.A., González-Piqueras, J., Neale, C.M.U., 2010a. Basal crop coefficient from remote sensing assessment in rain-fed grapes in southeast Spain, Remote sensing and hydrology. IAHS, Jackson Hole (WY). USA, pp. 397-400.
- Campos, I., Calera, A., Balbotín, C., Torres, E.A., González-Piqueras, J., Neale, C.M.U., 2010b. Basal Crop Coefficient From Remote Sensing Assessment in Rain-Fed Grapes in Southeast Spain, in: Sciences), I.I.A.o.H. (Ed.), Remote Sensing and Hydrology 2010 Symposium, Jackson Hole, Wyoming, pp. 397-400.
- Campos, I., Neale, C.M.U., Calera, A., Balbontín, C., González-Piqueras, J., 2010c. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). Agricultural Water Management 98, 45-54.
- Campos, I., Neale, C.M.U., Calera, A., Balbontín, C., González-Piqueras, J., 2010d. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). Agricultural Water Management 98, 45-54.
- Consoli, S., Barbagallo, S., 2012. Estimating Water Requirements of an Irrigated Mediterranean Vineyard Using a Satellite-Based Approach. Irrig Sci 138, 896-904.
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A.M., López, P., Calera, A., 2005. Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. ITEA : Información Técnica Económica Agraria 101, 212-224.

- Chen, X., Vierling, L., Deering, D., 2005. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment* 98, 63-79.
- Choudhury, B.J., Ahmed, N.U., Idso, S.B., Reginato, R.J., Daughtry, C.S.T., 1994. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. *Remote Sensing of Environment* 50, 1-17.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy.
- European Commission, 2012. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL on the Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) River Basin Management Plans.
- Forney, W.M., Raunikar, R.P., Bernknopf, R.L., Mishra, S.K., 2012. An economic value of remote-sensing information -- Application to agricultural production and maintaining groundwater quality. *Professional Paper* 1796, 60.
- Garrido-Rubio, J., Campos, I., Villa, G., Plaza, N., Calera, A., 2011. INTERPOLA. Herramienta para la generación de imágenes sintéticas y sustitución de valores reales con presencia de nubes-sombras por valores interpolados, XIV Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Mieres, Asturias, Spain, p. 4.
- Garrido-Rubio, J., Rodriguez, J., Madurga, C., Fraile, L., Calera, A., González, L., Jiménez-Martinez, N., Arellano, I., Campos, I., Odi, M., Moreno-Rivera, J.M., 2012. Integración de la red SiAR e imágenes de satélite en la estimación de las necesidades de agua de riego. Aplicación al Center y su extensión a grandes áreas, XXX Congreso Nacional de Riegos, Albacete, p. 10.
- Glenn, E.P., Neale, C.M.U., Hunsaker, D.J., Nagler, P.L., 2011a. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes* 25, 4050-4062.
- Glenn, E.P., Neale, C.M.U., Hunsaker, D.J., Nagler, P.L., 2011b. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes* 25, 4050-4062.
- Gonzalez-Dugo, M.P., Neale, C.M.U., Mateos, L., Kustas, W.P., Prueger, J.H., Anderson, M.C., Li, F., 2009. A comparison of operational remote sensing-based models for estimating crop evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1843-1853.
- González-Piqueras, J., 2006. Evapotranspiración de la cubierta vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por Teledetección. Extensión a escala regional: Acuífero 08.29 Mancha Oriental.
- Heilman, J.L., Heilman, W.E., Moore, D.G., 1982. Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance. *Agronomy Journal* 74, 967-971.
- Hiederer, R., 2013. Mapping Soil Properties for Europe - Spatial Representation of Soil Database Attributes, Publications Office of the European Union, Scientific and Technical Research series. Joint Research Center, Luxembourg, p. 47.
- MAPA, 2019. SiAR, Sistema de información Agroclimática para el Regadio (<http://www.siar.es>).
- Gobierno Vasco, 2019. EuskalMet, Agencia Vasca de Meteorología (<https://www.euskalmet.euskadi.eus>).
- MITECO, 2019. AEMET, Agencia Española de Meteorología (<http://www.aemet.es>)
- Martínez, C., 2014. Observación multiespectral de la cubierta vegetal mediante Teledetección. Aplicación a Castilla-La Mancha. UCLM (Universidad de Castilla-La Mancha), Albacete.
- Miller, H.M., Sexton, N.R., Koontz, L., Loomis, John, Koontz, S.R., Hermans, C., 2011. The users, uses, and value of Landsat and other moderate-resolution satellite imagery in the United States. Executive report. Open-File Report 2011-1031, 43.

- Moran, M.S., Inoue, Y., Barnes, E.M., 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sensing of Environment* 61, 319-346.
- Moreno, R., Arias, E., Sánchez, J.L., Cazorla, D., Garrido-Rubio, J., González-Piqueras, J., 2015. HidroMORE 2: An Optimized and Parallel Version of HidroMORE. *Environmental Modeling & Software*, 16.
- Neale, C.M.U., Bausch, W.C., Heerman, D.F., 1989. Development of reflectance-based crop coefficients for corn. *Transactions of the ASAE* 32, 1891-1899.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., Montanarella, L., 2012. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy* 29, 329-338.
- Rioja, G.d.L., 2019. Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Servicio de Información Agroclimática de La Rioja (<http://www.larioja.org/siar>).
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. *Remote Sensing Center*. College Station.
- Sánchez, N., Martínez-Fernández, J., Calera, A., Torres, E., Pérez-Gutiérrez, C., 2010. Combining remote sensing and in situ soil moisture data for the application and validation of a distributed water balance model (HIDROMORE). *Agricultural Water Management* 98, 69-78.
- Schroeder, T.A., Cohen, W.B., Song, C., Canty, M.J., Yang, Z., 2006. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. *Remote Sensing of Environment* 103, 16-26.
- Serbina, L., Holly, M.M., 2014. Landsat and Water — Case Studies of the Uses and Benefits of Landsat Imagery in Water Resources. 61.
- SMC, S.M.d.C., 2019. RuralCat, Datos agrometeorológicos (<http://www.ruralcat.net/>).
- Torres, E.A., 2010. El modelo FAO-56 asistido por satélite en la estimación de la evapotranspiración en un cultivo bajo estrés hídrico y en suelo desnudo. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM).
- Torres, E.A., Calera, A., 2010. Bare soil evaporation under high evaporation demand: a proposed modification to the FAO-56 model. *Hydrological Sciences Journal* 55, 303-315.
- Van Leeuwen, C., Tregot, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., Gaudillère, J.-P., 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *International journal of vine and wine sciences* 43, 121-134.
- Villa, G., Moreno, J., Calera, A., Amorós-López, J., Camps-Valls, G., Domenech, E., Garrido, J., González-Matesanz, J., Gómez-Chova, L., Martínez, J.Á., Molina, S., Peces, J.J., Plaza, N., Porcuna, A., Tejeiro, J.A., Valcárcel, N., 2012. Spectro-temporal reflectance surfaces: a new conceptual framework for the integration of remote-sensing data from multiple different sensors. *International Journal of Remote Sensing* 34, 3699-3715.
- Williams, L.E., Ayars, J.E., 2005. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 201-211.
- Wright, J.L., 1982. New Evapotranspiration Crop Coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 108, 57-74
- MAPA. Informes finales Spider SiAR 2016-2017 y Espacio SiAR 2018.

**ANEXO I. ESTACIONES  
METEOROLÓGICAS EMPLEADAS EN EL  
PROYECTO ESPACIO SiAR 2019**



A continuación, se especifican las estaciones agroclimatológicas que se han empleado para obtener las variables de precipitación y evapotranspiración de referencia (ETo) del SiAR del MAPA, de RuralCat, red SIAR de La Rioja, Euskalmet y AEMET, estas últimas únicamente para la variable de precipitación. Las coordenadas se muestran en ETRS89 huso 30 excepto las estaciones de Canarias que se muestran en huso 28 y las de Baleares en huso 31.

**Tabla 19.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica Cuencas Mediterráneas de Andalucía.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>TORROX</b>	AEMET	414524,79	4064947,49	Málaga
<b>MÁLAGA AEROPUERTO</b>	AEMET	367539,01	4058857,30	Málaga
<b>MÁLAGA, CENTRO METEOROLÓGICO</b>	AEMET	367677,25	4064588,34	Málaga
<b>FUENGIROLA</b>	AEMET	355136,06	4044909,21	Málaga
<b>ANTEQUERA</b>	AEMET	344493,49	4099567,83	Málaga
<b>ESTEPONA</b>	AEMET	306788,93	4032352,95	Málaga
<b>ADRA</b>	AEMET	498165,01	4066831,70	Almería
<b>ALMERÍA AEROPUERTO</b>	AEMET	557331,79	4078024,95	Almería
<b>HUÉRCAL-OVERA</b>	AEMET	593511,81	4138722,91	Almería
<b>ROQUETAS DE MAR</b>	AEMET	526652,99	4060186,47	Almería
<b>ABLA</b>	AEMET	519563,11	4110579,99	Almería
<b>Málaga</b>	SiAR	362740,95	4068969,70	Málaga
<b>IFAPA Churriana</b>	SiAR	365680,24	4059740,53	Málaga
<b>Pizarra</b>	SiAR	346918,44	4070360,53	Málaga
<b>Vélez-Málaga</b>	SiAR	399039,23	4072849,61	Málaga
<b>Estepona</b>	SiAR	301937,43	4035540,37	Málaga
<b>Zafarraya</b>	SiAR	397320,89	4094419,55	Granada
<b>Padul</b>	SiAR	446598,73	4097119,70	Granada
<b>Tíjola</b>	SiAR	547839,04	4137000,01	Almería
<b>Cádiar</b>	SiAR	483612,82	4086359,68	Granada
<b>Almuñécar</b>	SiAR	439383,80	4067569,78	Granada
<b>Tabernas</b>	SiAR	561997,60	4105230,50	Almería
<b>Fiñana</b>	SiAR	514310,79	4112270,22	Almería
<b>La Mojonera</b>	SiAR	526376,22	4071320,26	Almería
<b>Almería</b>	SiAR	553282,31	4076779,59	Almería
<b>Adra</b>	SiAR	500682,92	4066780,26	Almería
<b>Níjar</b>	SiAR	574959,95	4089720,04	Almería
<b>Huércal-Overa</b>	SiAR	598735,28	4141210,27	Almería
<b>Cuevas de Almanzora</b>	SiAR	606367,18	4124030,30	Almería
<b>ARCHIDONA</b>	SiAR	373857,69	4107194,79	Málaga
<b>IFAPA Centro de Campanillas</b>	SiAR	360629,25	4065959,98	Málaga
<b>Cártama</b>	SiAR	350118,87	4064780,48	Málaga
<b>Antequera</b>	SiAR	361020,89	4099810,14	Málaga
<b>Jimena de la Frontera</b>	SiAR	286263,00	4032470,11	Cádiz

**Tabla 20.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica de las Islas Baleares

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Calviá	SiAR	453989,38	4378092,54	Illes Balears
S' Estany des Peix	SiAR	360733,37	4287708,27	Illes Balears
Sa Pobla	SiAR	503617,66	4405870,07	Illes Balears
Es Mercadal	SiAR	593741,29	4428753,22	Illes Balears
Santa Eulalia	SiAR	364926,43	4319050,63	Illes Balears
Son Ferriol	SiAR	476471,38	4379216,68	Illes Balears
Felanitx	SiAR	507425,18	4369544,61	Illes Balears
Inca	SiAR	494738,25	4392660,43	Illes Balears
Manacor	SiAR	514740,83	4377384,80	Illes Balears

**Tabla 21.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica de las Islas Canarias

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
FUERTEVENTURA AEROPUERTO	AEMET	611328,97	3146994,29	Las Palmas
MOGÁN, PUERTO	AEMET	424736,97	3077097,31	Las Palmas
LANZAROTE AEROPUERTO	AEMET	636403,12	3203468,13	Las Palmas
PÁJARA	AEMET	563089,67	3102815,03	Las Palmas
HIERRO AEROPUERTO	AEMET	215415,13	3080490,04	Sta Cruz de Tenerife
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, PL	AEMET	458611,10	3109797,94	Las Palmas
MASPALOMAS	AEMET	441273,32	3068081,95	Las Palmas
GRAN CANARIA AEROPUERTO	AEMET	461681,31	3088678,33	Las Palmas
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA, SA	AEMET	459120,64	3107211,32	Las Palmas
TENERIFE SUR AEROPUERTO	AEMET	346563,52	3103385,67	Sta Cruz de Tenerife
IZAÑA	AEMET	352984,08	3132332,76	Sta Cruz de Tenerife
LA PALMA AEROPUERTO	AEMET	230664,46	3170436,93	Sta Cruz de Tenerife
SAN SEBASTIÁN DE LA GOMERA	AEMET	292548,80	3108941,72	Sta Cruz de Tenerife
STA,CRUZ DE TENERIFE	AEMET	377104,46	3149171,59	Sta Cruz de Tenerife
PUERTO DE LA CRUZ	AEMET	348372,57	3144488,92	Sta Cruz de Tenerife
GÜÍMAR	AEMET	364490,62	3133242,08	Sta Cruz de Tenerife
TENERIFE NORTE AEROPUERTO	AEMET	369859,98	3150819,33	Sta Cruz de Tenerife

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
TAZACORTE	AEMET	214887,51	3166682,38	Sta Cruz de Tenerife
Puntallana - Vivero	SiAR	232882,75	3182764,38	Sta Cruz de Tenerife
El Pico	SiAR	365950,30	3156100,36	Sta Cruz de Tenerife
Garimba	SiAR	364051,13	3154029,99	Sta Cruz de Tenerife
Tazacorte	SiAR	214941,59	3166660,72	Sta Cruz de Tenerife
Las Galletas	SiAR	334810,73	3102621,72	Sta Cruz de Tenerife
Los Llanos de Aridane	SiAR	214253,02	3172971,70	Sta Cruz de Tenerife
Barlovento	SiAR	228734,12	3192212,01	Sta Cruz de Tenerife
Valle Guerra-Pajalillos	SiAR	364204,76	3156479,47	Sta Cruz de Tenerife
El Socorro	SiAR	228946,30	3173100,34	Sta Cruz de Tenerife
Fuencaliente	SiAR	219402,03	3154549,86	Sta Cruz de Tenerife
Valle Guerra-Isamar	SiAR	364185,31	3154797,50	Sta Cruz de Tenerife
La Laguna - Güímar	SiAR	364402,34	3133220,55	Sta Cruz de Tenerife
La Fuente - Buenavista del Nor	SiAR	317636,02	3139674,31	Sta Cruz de Tenerife
Guía de Isora	SiAR	320054,71	3123927,17	Sta Cruz de Tenerife
Puerto de la Cruz	SiAR	349670,16	3143708,13	Sta Cruz de Tenerife
Frontera	SiAR	203032,49	3076274,56	Sta Cruz de Tenerife
San Sebastián de La Gomera	SiAR	291328,78	3110410,46	Sta Cruz de Tenerife
Hermigua	SiAR	284254,15	3117691,00	Sta Cruz de Tenerife
Tinajo	SiAR	630505,60	3214312,02	Las Palmas
Antigua - Pozo Negro	SiAR	603633,39	3134549,63	Las Palmas
Arucas	SiAR	449521,58	3111694,52	Las Palmas
Haría	SiAR	648284,00	3220115,95	Las Palmas
La Degollada	SiAR	619724,31	3201640,13	Las Palmas
BARRANQUILLO FRÍO	SiAR	440010,62	3107905,44	Las Palmas
La Torrecilla	SiAR	648627,14	3228917,23	Las Palmas
Masdache	SiAR	631908,59	3209155,94	Las Palmas

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Santa Lucía - Vecindario	SiAR	457624,38	3079844,22	Las Palmas
Vega de San Mateo	SiAR	447613,03	3099499,09	Las Palmas
Gáldar	SiAR	434694,63	3114708,89	Las Palmas
San Nicolás de Tolentino	SiAR	422728,20	3096115,10	Las Palmas

**Tabla 22.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Duero.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
ARANDA DE DUERO	AEMET	438163,92	4612941,63	Burgos
PALACIOS DE LA SIERRA	AEMET	489088,81	4645312,63	Burgos
SEGOVIA	AEMET	405189,79	4533293,18	Segovia
PUERTO ALTO DEL LEÓN	AEMET	403534,84	4506791,27	Segovia
LA PINILLA, ESTACIÓN DE ESQUÍ	AEMET	460144,53	4560173,94	Segovia
PUERTO DE NAVACERRADA	AEMET	414744,81	4516275,91	Segovia
LEÓN, VIRGEN DEL CAMINO	AEMET	282468,67	4718508,57	León
LAGUNAS DE SOMOZA	AEMET	236817,47	4696642,16	León
PUERTO DE SAN ISIDRO	AEMET	306450,94	4770466,56	León
ÁVILA	AEMET	357981,00	4502279,27	Ávila
NAVARREDONDA DE GREDOS	AEMET	318001,36	4468870,95	Ávila
VILLARDECIEVOS	AEMET	228116,04	4648472,72	Zamora
SALAMANCA AEROPUERTO	AEMET	289748,11	4537260,93	Salamanca
ZAMORA	AEMET	271750,10	4599603,90	Zamora
BENAVENTE	AEMET	279182,03	4654419,51	Zamora
SORIA	AEMET	542962,66	4624924,34	Soria
VALLADOLID	AEMET	353884,17	4611386,32	Valladolid
AUTILLA DEL PINO	AEMET	367250,68	4650525,24	Palencia
CERVERA DE PISUERGA	AEMET	375846,44	4747560,93	Palencia
CARRIÓN DE LOS CONDES	AEMET	366802,05	4689996,59	Palencia
SAELICES EL CHICO	AEMET	195539,70	4504473,36	Salamanca
SALAMANCA	AEMET	275947,79	4537452,53	Salamanca
VITIGUDINO	AEMET	210903,03	4545716,31	Salamanca
SOMOSIERRA	AEMET	451297,76	4553967,43	Madrid
Gomezserracín	SiAR	391315,39	4573030,07	Segovia
Nava de la Asunción	SiAR	376146,07	4558879,47	Segovia
Tardajos	SiAR	433886,86	4688519,76	Burgos
Vadocondes	SiAR	451951,95	4609650,29	Burgos
Valle de Valdelucio	SiAR	407277,32	4733270,29	Burgos
Lerma	SiAR	436441,22	4654470,43	Burgos
Sahagún	SiAR	333433,73	4693310,29	León
Santas Martas	SiAR	314116,72	4701219,92	León
Hospital de Orbigo	SiAR	261828,30	4704909,96	León
Bustillo del Páramo	SiAR	272070,87	4705080,11	León
Losar del Barco	SiAR	285381,29	4472220,34	Ávila

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>Zotes del Páramo</b>	SiAR	274229,87	4682010,16	León
<b>Quintana del Marco</b>	SiAR	265660,69	4677909,67	León
<b>Mansilla mayor</b>	SiAR	300122,63	4708889,57	León
<b>Cubillas de los Oteros</b>	SiAR	293278,09	4696999,09	León
<b>Fuentecantos</b>	SiAR	547013,02	4631259,70	Soria
<b>Hinojosa del Campo</b>	SiAR	575261,40	4620819,91	Soria
<b>Almazán</b>	SiAR	541684,97	4590000,31	Soria
<b>San Esteban de Gormaz</b>	SiAR	481714,23	4601560,35	Soria
<b>Nava de Arévalo</b>	SiAR	350144,62	4538230,25	Ávila
<b>Muñogalindo</b>	SiAR	336237,14	4493639,61	Ávila
<b>Villaralbo</b>	SiAR	279159,76	4595660,45	Zamora
<b>Villalpando</b>	SiAR	301623,41	4638980,03	Zamora
<b>Colinas de Trasmonte</b>	SiAR	267218,95	4653680,54	Zamora
<b>Toro</b>	SiAR	302536,78	4597879,72	Zamora
<b>Pozuelo de Tábara</b>	SiAR	259386,01	4629610,54	Zamora
<b>Barcial del Barco</b>	SiAR	278887,33	4645819,84	Zamora
<b>Medina de Rioseco</b>	SiAR	328133,70	4636389,70	Valladolid
<b>Finca Zamadueñas</b>	SiAR	358738,97	4619050,45	Valladolid
<b>Tordesillas</b>	SiAR	333146,40	4594720,39	Valladolid
<b>Valbuena de Duero</b>	SiAR	394425,28	4610959,63	Valladolid
<b>Villalón de Campos</b>	SiAR	336577,97	4665759,94	Valladolid
<b>Medina del Campo</b>	SiAR	341205,02	4575269,83	Valladolid
<b>Rueda</b>	SiAR	334262,03	4585520,19	Valladolid
<b>Villaeles de Valdavia</b>	SiAR	369884,89	4713479,49	Palencia
<b>Villaluenga de la Vega</b>	SiAR	354224,96	4709939,78	Palencia
<b>Lantadilla</b>	SiAR	394739,11	4688969,73	Palencia
<b>Olmedo</b>	SiAR	358841,26	4574600,18	Valladolid
<b>Encinas de Esgueva</b>	SiAR	408359,01	4624499,92	Valladolid
<b>Mayorga</b>	SiAR	310946,24	4669050,29	Valladolid
<b>Torrecilla de la Orden</b>	SiAR	314411,05	4566399,66	Valladolid
<b>Torquemada</b>	SiAR	392329,94	4656289,84	Palencia
<b>Villoldo</b>	SiAR	368708,71	4681139,52	Palencia
<b>Herrera de Pisuerga</b>	SiAR	397065,06	4704900,54	Palencia
<b>Villamuriel de Cerrato</b>	SiAR	376702,03	4644879,54	Palencia
<b>Fuentes de Nava</b>	SiAR	357804,64	4660219,50	Palencia
<b>Ciudad Rodrigo</b>	SiAR	200526,14	4499280,52	Salamanca
<b>Ejeme</b>	SiAR	286462,87	4517879,85	Salamanca
<b>Aldearrubia</b>	SiAR	291143,86	4540569,61	Salamanca
<b>Arabayona</b>	SiAR	301286,65	4545470,05	Salamanca

**Tabla 23.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Ebro.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
TORTOSA	AEMET	794618,11	4524681,51	Tarragona
SANT JAUME D'ENVEJA	AEMET	821915,17	4512347,58	Tarragona
LA SEU D'URGELL	AEMET	867594,45	4698817,68	Lleida
LLEIDA	AEMET	799743,82	4614521,35	Lleida
NAUT ARAN, ARTIES	AEMET	817554,71	4734823,86	Lleida
TALARÍN	AEMET	819106,12	4679805,14	Lleida
TÀRREGA	AEMET	845556,48	4619302,61	Lleida
ZARAGOZA, VALDESPARTERA	AEMET	672034,32	4609738,76	Zaragoza
CALATAYUD	AEMET	613363,51	4576399,77	Zaragoza
ZARAGOZA AEROPUERTO	AEMET	666169,67	4614013,43	Zaragoza
LA MOLINA	AEMET	906983,90	4698523,82	Girona
SOS DEL REY CATÓLICO	AEMET	646804,23	4705821,35	Zaragoza
DAROCA	AEMET	633492,22	4552679,75	Zaragoza
MEDINA DE POMAR	AEMET	460598,53	4752044,04	Burgos
BELORADO	AEMET	485991,36	4696547,47	Burgos
LOGROÑO AEROPUERTO	AEMET	555001,95	4700204,63	La Rioja
JACA	AEMET	701309,82	4716969,56	Huesca
ARAGÜÉS DEL PUERTO	AEMET	690562,62	4731113,66	Huesca
BIELSA	AEMET	764425,15	4724770,68	Huesca
HUESCA AEROPUERTO	AEMET	721141,28	4662488,04	Huesca
CALAMOCHA	AEMET	643696,51	4531956,94	Teruel
CALANDA	AEMET	732507,14	4536511,11	Teruel
REINOSA	AEMET	405392,21	4760573,66	Cantabria
VALDERREDIBLE, POLIENTES	AEMET	423641,43	4739737,86	Cantabria
ALCAÑÍZ	AEMET	740193,01	4549138,79	Teruel
VITORIA GASTEIZ AEROPUERTO	AEMET	521780,65	4746629,09	Álava
ARANGUREN, ILUNDAIN	AEMET	620047,92	4736997,01	Navarra
BARDENAS REALES, BASE AÉREA	AEMET	625881,92	4672953,38	Navarra
CASTELLFORT	AEMET	738404,68	4486903,38	Castellón
PAMPLONA AEROPUERTO	AEMET	610434,28	4736929,01	Navarra
Páganos	EUSKALMET	532902,95	4712078,80	Álava
Herrera	EUSKALMET	526714,02	4716208,57	Álava
Zambrana	EUSKALMET	509366,17	4724739,23	Álava
Navarrete	EUSKALMET	539174,28	4720716,13	Álava
Trebiño	EUSKALMET	524451,05	4729542,07	Burgos
Kanpezu	EUSKALMET	553956,66	4724979,73	Álava
Salvatierra	EUSKALMET	549518,26	4745236,51	Álava
Moreda	EUSKALMET	548437,28	4708612,88	Álava

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Sant Martí de Riucorb	RURALCAT	840867,34	4610374,47	Lleida
Sant Romá d'Abella	RURALCAT	833792,30	4673136,50	Lleida
Raimat	RURALCAT	787045,33	4620360,74	Lleida
Salòria (2451m)	RURALCAT	858654,49	4716689,64	Lleida
Sort	RURALCAT	839879,63	4703049,35	Lleida
Tárrega	RURALCAT	846542,54	4621175,19	Lleida
Sasseuva (2228m)	RURALCAT	805336,20	4742044,03	Lleida
Serós	RURALCAT	786261,76	4595917,57	Lleida
Montsec d'Ares (1572m)	RURALCAT	808644,48	4662205,30	Lleida
Oliana	RURALCAT	856953,54	4667322,76	Lleida
Maials	RURALCAT	791184,92	4584282,55	Lleida
Mollerussa	RURALCAT	822593,97	4614628,62	Lleida
Os de Balaguer-el Monestir d'Áv	RURALCAT	812093,06	4643198,42	Lleida
Pinós	RURALCAT	877060,99	4638073,06	Lleida
Oliola	RURALCAT	844728,00	4644462,99	Lleida
Organyá	RURALCAT	857525,23	4682874,95	Lleida
Lac Rendon (2247m)	RURALCAT	809830,16	4727581,58	Lleida
les Borges Blanques	RURALCAT	821820,31	4602707,68	Lleida
la Pobla de Segur-Bombers	RURALCAT	827109,19	4683970,77	Lleida
la Seu d'Urgell-Bellestar	RURALCAT	865006,92	4700476,01	Lleida
Lleida-la Femosa	RURALCAT	803576,68	4610066,74	Lleida
Lleida-Pla de Lleida	RURALCAT	804092,99	4611957,51	Lleida
Lladurs	RURALCAT	866243,89	4668981,32	Lleida
Lleida-la Bordeta	RURALCAT	804082,15	4611602,18	Lleida
el Pont de Suert	RURALCAT	808117,89	4700771,82	Lleida
els Alamús	RURALCAT	811308,66	4611577,98	Lleida
el Canós	RURALCAT	849874,11	4623835,24	Lleida
el Poal	RURALCAT	822786,61	4620715,23	Lleida
Golmés	RURALCAT	826888,30	4616853,86	Lleida
la Granadella	RURALCAT	806817,95	4585205,91	Lleida
Espot (2519m)	RURALCAT	833007,77	4717055,70	Lleida
Gimenells	RURALCAT	782519,50	4617384,78	Lleida
Prades 2	RURALCAT	833285,09	4581356,57	Tarragona
Tivissa	RURALCAT	814391,17	4550321,64	Tarragona
PN dels Ports	RURALCAT	779943,93	4521527,79	Tarragona
Prades	RURALCAT	834596,88	4581475,95	Tarragona
Ulldemolins	RURALCAT	825240,00	4581568,86	Tarragona
Vinebre	RURALCAT	801421,45	4565523,29	Tarragona
Torroja del Priorat	RURALCAT	818359,47	4569724,80	Tarragona
Ulldecona-els Valentis	RURALCAT	785135,93	4502764,95	Tarragona
Gandesa	RURALCAT	788210,04	4551733,56	Tarragona

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>Horta de Sant Joan</b>	RURALCAT	778235,76	4538619,10	Tarragona
<b>els Alfacs</b>	RURALCAT	809504,70	4503819,73	Tarragona
<b>Falset</b>	RURALCAT	820512,90	4562859,93	Tarragona
<b>Margalef</b>	RURALCAT	814367,43	4577219,99	Tarragona
<b>Pantá de Riba-roja</b>	RURALCAT	787646,82	4571544,93	Tarragona
<b>Illa de Buda</b>	RURALCAT	823945,90	4513328,67	Tarragona
<b>I'Aldea</b>	RURALCAT	805227,94	4519461,31	Tarragona
<b>Aldover</b>	RURALCAT	795448,64	4529061,22	Tarragona
<b>Amposta</b>	RURALCAT	806841,40	4512664,16	Tarragona
<b>Benissanet</b>	RURALCAT	805460,15	4552108,34	Tarragona
<b>el Masroig</b>	RURALCAT	812461,47	4559013,02	Tarragona
<b>Ascó</b>	RURALCAT	794478,71	4566512,97	Tarragona
<b>Batea</b>	RURALCAT	778774,07	4553692,15	Tarragona
<b>Torres de Segre</b>	RURALCAT	796491,09	4602482,82	Lleida
<b>Trempl</b>	RURALCAT	821209,74	4675142,46	Lleida
<b>Tornabous</b>	RURALCAT	836639,55	4623084,77	Lleida
<b>Tornabous-Montargull</b>	RURALCAT	836649,05	4623468,09	Lleida
<b>Vilanova de Meiá</b>	RURALCAT	833450,92	4657115,64	Lleida
<b>Vilanova de Segriá</b>	RURALCAT	801857,48	4624442,83	Lleida
<b>Vallfogona de Balaguer</b>	RURALCAT	818233,76	4632984,01	Lleida
<b>Vielha</b>	RURALCAT	810766,16	4734324,05	Lleida
<b>Cadí Nord (2143)-Prat d'Aguiló</b>	RURALCAT	888731,01	4693045,59	Lleida
<b>Camarasa</b>	RURALCAT	821916,67	4647940,73	Lleida
<b>Boi (2535m)</b>	RURALCAT	819331,99	4708834,63	Lleida
<b>Bonaigua (2266m)</b>	RURALCAT	826674,87	4729309,70	Lleida
<b>Certascan (2400m)</b>	RURALCAT	849918,48	4736388,67	Lleida
<b>Cervera</b>	RURALCAT	857632,82	4622677,86	Lleida
<b>Castelldans</b>	RURALCAT	813125,37	4604300,45	Lleida
<b>Castellnou de Seana</b>	RURALCAT	829056,52	4619197,67	Lleida
<b>Alcarrás</b>	RURALCAT	796041,44	4607579,97	Lleida
<b>Alcarrás-Torrent d'Alcarrás</b>	RURALCAT	796099,22	4607759,21	Lleida
<b>Aitona</b>	RURALCAT	788909,43	4598596,73	Lleida
<b>Albesa</b>	RURALCAT	805120,53	4629683,29	Lleida
<b>Alguaire</b>	RURALCAT	794024,18	4627265,68	Lleida
<b>Baldomar</b>	RURALCAT	834111,57	4648940,34	Lleida
<b>Alfarrás</b>	RURALCAT	797151,67	4635926,14	Lleida
<b>Algerri</b>	RURALCAT	803083,54	4634123,33	Lleida
<b>Das-Aeródrom</b>	RURALCAT	900622,87	4704124,01	Girona
<b>Malniu (2230m)</b>	RURALCAT	892883,89	4712598,11	Girona
<b>Tauste</b>	SiAR	653807,89	4651470,04	Zaragoza
<b>Boquiñeni</b>	SiAR	645315,14	4633850,29	Zaragoza
<b>Daroca</b>	SiAR	632269,96	4551949,64	Zaragoza

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>El Bayo</b>	SiAR	644635,29	4670769,70	Zaragoza
<b>Santa Engracia (Tauste)</b>	SiAR	640172,08	4640689,48	Zaragoza
<b>Zuera</b>	SiAR	685329,93	4639809,50	Zaragoza
<b>Pastriz</b>	SiAR	689156,64	4607210,06	Zaragoza
<b>Calatayud</b>	SiAR	615872,64	4579969,50	Zaragoza
<b>Luna</b>	SiAR	670686,99	4662469,93	Zaragoza
<b>Montaňana</b>	SiAR	681036,92	4620269,96	Zaragoza
<b>Ejea de los Caballeros</b>	SiAR	649165,98	4662200,51	Zaragoza
<b>Sádaba</b>	SiAR	639426,75	4680839,78	Zaragoza
<b>Caspe</b>	SiAR	745203,77	4576640,18	Zaragoza
<b>Osera de Ebro</b>	SiAR	705485,63	4602199,85	Zaragoza
<b>Borja</b>	SiAR	623871,02	4634770,41	Zaragoza
<b>Tarazona</b>	SiAR	604000,34	4641230,29	Zaragoza
<b>Almonacid de la Sierra</b>	SiAR	639491,35	4590290,19	Zaragoza
<b>Fabara</b>	SiAR	764602,62	4562190,34	Zaragoza
<b>Épila</b>	SiAR	643203,73	4604929,55	Zaragoza
<b>Belchite</b>	SiAR	690603,62	4580150,39	Zaragoza
<b>Quinto</b>	SiAR	707464,76	4584840,26	Zaragoza
<b>18 Funes</b>	SiAR	598381,90	4682430,53	Navarra
<b>09 Lerin</b>	SiAR	584109,04	4706200,51	Navarra
<b>Santa Gadea del Cid</b>	SiAR	493844,30	4727710,46	Burgos
<b>Valle de Losa</b>	SiAR	480748,71	4757129,49	Burgos
<b>Condado de Treviño</b>	SiAR	517719,06	4732000,04	Burgos
<b>20 Cadreita</b>	SiAR	605802,22	4673640,21	La Rioja
<b>Cariñena</b>	SiAR	647892,31	4585038,08	Zaragoza
<b>Gurrea de Gállego</b>	SiAR	687922,95	4651470,12	Huesca
<b>Banastón</b>	SiAR	760884,02	4697989,47	Huesca
<b>Grañén</b>	SiAR	719175,34	4646770,12	Huesca
<b>Huerto</b>	SiAR	737282,17	4647970,20	Huesca
<b>Tardienta</b>	SiAR	706522,25	4649380,34	Huesca
<b>San Esteban de Litera</b>	SiAR	774163,69	4642060,16	Huesca
<b>Alfántega</b>	SiAR	761431,85	4634800,22	Huesca
<b>Fraga</b>	SiAR	779968,86	4599160,50	Huesca
<b>Lanaja</b>	SiAR	721217,66	4629490,11	Huesca
<b>Selgua</b>	SiAR	759185,04	4647809,93	Huesca
<b>Alcolea de Cinca</b>	SiAR	755553,91	4625579,99	Huesca
<b>Tamarite de Litera</b>	SiAR	780662,34	4630970,34	Huesca
<b>Huesca</b>	SiAR	716820,74	4664810,13	Huesca
<b>Candasnos</b>	SiAR	758445,33	4594440,04	Huesca
<b>Barbastro</b>	SiAR	757737,99	4655959,93	Huesca
<b>Sariñena</b>	SiAR	734668,12	4628249,92	Huesca
<b>Monreal del Campo</b>	SiAR	638781,78	4515729,92	Teruel

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>Villarquemado</b>	SiAR	644881,35	4487499,55	Teruel
<b>Valfarta</b>	SiAR	737941,66	4601689,68	Huesca
<b>Zaidín</b>	SiAR	773946,88	4614720,10	Huesca
<b>Puig Moreno</b>	SiAR	731893,88	4553189,63	Teruel
<b>Híjar</b>	SiAR	707113,65	4565609,93	Teruel
<b>Calanda</b>	SiAR	734842,32	4538190,56	Teruel
<b>11 Olite</b>	SiAR	610024,91	4697696,14	Navarra
<b>14 Traibuenas</b>	SiAR	614023,18	4690839,54	Navarra
<b>19 Bardenas Reales (Barranco)</b>	SiAR	610873,25	4680000,04	Navarra
<b>15 Sartaguda</b>	SiAR	578128,36	4690400,28	Navarra
<b>04 Ancín</b>	SiAR	567869,67	4722909,91	Navarra
<b>21 Corella</b>	SiAR	595908,30	4663260,30	Navarra
<b>01 Arazuri</b>	SiAR	604372,89	4740489,54	Navarra
<b>03 Lumbier</b>	SiAR	641305,40	4725090,35	Navarra
<b>10 Bargota</b>	SiAR	557601,00	4703050,37	Navarra
<b>17 Bardenas Reales (El Plano)</b>	SiAR	622106,39	4683609,54	Navarra
<b>08 Miranda de Arga</b>	SiAR	597865,13	4707229,80	Navarra
<b>12 Falces</b>	SiAR	599354,55	4695469,38	Navarra
<b>San Adrian</b>	SiAR	590570,14	4690180,35	Navarra
<b>Tudela</b>	SiAR	617646,90	4661120,03	Navarra
<b>26 Los Arcos</b>	SiAR	566963,05	4709980,22	Navarra
<b>27 Sesma</b>	SiAR	571792,08	4702710,06	Navarra
<b>25 Ablitas</b>	SiAR	612249,25	4650270,43	Navarra
<b>06 Aibar</b>	SiAR	638208,87	4713140,25	Navarra
<b>23 Fitero</b>	SiAR	595781,30	4655540,38	Navarra
<b>24 Cascante</b>	SiAR	605622,63	4654379,90	Navarra
<b>02 Adiós</b>	SiAR	602626,26	4726759,49	Navarra
<b>05 Artajona</b>	SiAR	599222,70	4715280,06	Navarra
<b>07 San Martín de Unx</b>	SiAR	614035,62	4707660,18	Navarra
<b>13 Murillo el Fruto</b>	SiAR	624530,66	4693629,94	Navarra
<b>Santa Cilia de Jaca</b>	SiAR	688103,31	4716400,53	Huesca
<b>Monte Julia</b>	SiAR	768745,06	4626240,49	Huesca
<b>Sodeto</b>	SiAR	727564,86	4640530,36	Huesca
<b>Agoncillo</b>	SIAR La Rioja	558332,31	4702003,72	Navarra
<b>Calahorra</b>	SIAR La Rioja	582231,68	4687435,53	La Rioja
<b>Ausejo</b>	SIAR La Rioja	569744,71	4687979,74	La Rioja
<b>Igea</b>	SIAR La Rioja	583260,29	4656677,96	La Rioja
<b>Foncea</b>	SIAR La Rioja	496974,99	4717414,82	La Rioja
<b>Santa Engracia del Jubera</b>	SIAR La Rioja	560687,81	4691006,93	La Rioja
<b>Quel</b>	SIAR La Rioja	579422,83	4678259,25	La Rioja
<b>Albelda de Iregua</b>	SIAR La Rioja	543477,66	4692184,72	La Rioja
<b>Arenzana de abajo</b>	SIAR La Rioja	522695,39	4693354,50	La Rioja

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Rincón de Soto	SIAR La Rioja	594794,70	4678348,71	La Rioja
Logroño	SIAR La Rioja	540000,75	4698710,95	La Rioja
Alfaro	SIAR La Rioja	600988,13	4667389,13	La Rioja
Uruñuela - Torremontalbo	SIAR La Rioja	523622,32	4701100,29	La Rioja
Leiva	SIAR La Rioja	495978,68	4705108,80	La Rioja
Cervera (Cabretón)	SIAR La Rioja	591715,35	4651135,59	La Rioja
San Vicente de la Sonsierra	SIAR La Rioja	521951,89	4712758,48	La Rioja
Pazuengos	SIAR La Rioja	507102,93	4687817,23	La Rioja
Entrena	SIAR La Rioja	539629,21	4694319,38	La Rioja
Villar de la Torre	SIAR La Rioja	511554,76	4692040,31	La Rioja
Casalarreina	SIAR La Rioja	508465,99	4709687,60	La Rioja
Aldeanueva de Ebro	SIAR La Rioja	590379,83	4675072,21	La Rioja
Santo Domingo de la Calzada	SIAR La Rioja	504852,00	4698068,42	La Rioja

**Tabla 24.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
A CORUÑA AEROPUERTO	AEMET	64289,42	4808932,79	A Coruña
CABO VILAN	AEMET	-4978,34	4797404,74	A Coruña
ESTACA DE BARES	AEMET	123041,75	4858793,11	A Coruña
A CORUÑA	AEMET	60704,42	4815734,29	A Coruña
PADRÓN	AEMET	39334,05	4747136,02	A Coruña
SANTIAGO DE COMPOSTELA	AEMET	46191,34	4762052,57	A Coruña
FISTERRA	AEMET	-13501,20	4771695,92	A Coruña
SANTIAGO DE COMPOSTELA AEROPUE	AEMET	58145,98	4762604,14	A Coruña
PONTEVEDRA	AEMET	38049,03	4713748,23	Pontevedra
VIGO AEROPUERTO	AEMET	35914,75	4691606,11	Pontevedra
A Capela	SIAR	90970,79	4822989,87	A Coruña
Boimorto	SIAR	81094,02	4777420,14	A Coruña

**Tabla 25.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica de Guadalete y Barbate.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
JEREZ DE LA FRONTERA AEROPUERTO	AEMET	227181,32	4071556,70	Cádiz
SAN FERNANDO	AEMET	212754,17	4040365,99	Cádiz
GRAZALEMA	AEMET	288078,08	4070939,14	Cádiz
TARIFA	AEMET	265784,41	3988613,49	Cádiz
CÁDIZ	AEMET	208201,45	4044314,77	Cádiz
VEJER DE LA FRONTERA	AEMET	233566,41	4015262,79	Cádiz

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
IFAPA Centro de Chipiona	SiAR	196448,07	4072629,83	Cádiz
Puerto de Santa María	SiAR	216316,94	4055676,37	Cádiz
SANLÚCAR DE BARRAMEDA	SiAR	202554,20	4068870,34	Cádiz
Basurta-Jerez de la Frontera	SiAR	230649,68	4072170,26	Cádiz
Conil de la Frontera	SiAR	218802,92	4025430,22	Cádiz
Vejer de la Frontera	SiAR	244926,75	4019309,53	Cádiz
Jerez de la Frontera	SiAR	230594,24	4059469,79	Cádiz
Villamartín	SiAR	266048,86	4080680,44	Cádiz

**Tabla 26.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
LA RODA DE ANDALUCÍA	AEMET	342907,51	4117910,20	Sevilla
ÉCIJA	AEMET	315735,69	4154171,01	Sevilla
MORÓN DE LA FRONTERA	AEMET	268128,34	4116308,36	Sevilla
CAZALLA DE LA SIERRA	AEMET	256559,53	4201265,98	Sevilla
SEVILLA AEROPUERTO	AEMET	245199,39	4144987,94	Sevilla
ARROYO DEL OJANCO	AEMET	509640,57	4240740,79	Jaén
VILLARRODRIGO	AEMET	531614,01	4260153,59	Jaén
ANDÚJAR	AEMET	406621,34	4208907,14	Jaén
SANTA ELENA	AEMET	453224,55	4244168,52	Jaén
JAÉN	AEMET	428767,09	4181436,69	Jaén
DOÑA MENCÍA	AEMET	380416,38	4157427,77	Córdoba
VILLANUEVA DE CÓRDOBA	AEMET	359380,79	4243993,99	Córdoba
CÓRDOBA AEROPUERTO	AEMET	337528,46	4190655,98	Córdoba
GRANADA AEROPUERTO	AEMET	429932,64	4116211,00	Granada
LOJA	AEMET	397645,30	4113367,23	Granada
BAZA	AEMET	523421,57	4151021,48	Granada
La Puebla del Río	SiAR	221954,18	4124549,81	Sevilla
La Puebla del Río II	SiAR	229177,90	4108109,51	Sevilla
Lebrija I	SiAR	221723,01	4096849,87	Sevilla
Aznalcázar	SiAR	209287,01	4116729,49	Sevilla
Osuna	SiAR	310674,80	4125300,05	Sevilla
La Rinconada	SiAR	241294,90	4149569,78	Sevilla
Ecija	SiAR	316625,03	4162679,52	Sevilla
La Luisiana	SiAR	303107,58	4155459,71	Sevilla
Las Cabezas de San Juan	SiAR	243351,18	4100490,02	Sevilla
Jaén	SiAR	432182,71	4193959,54	Jaén
Marmolejo	SiAR	396245,22	4211910,54	Jaén
La Higuera de Arjona	SiAR	411463,12	4200609,79	Jaén
Santo Tomé	SiAR	492726,25	4209060,29	Jaén
Villacarrillo	SiAR	482408,29	4212869,51	Jaén

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Jódar	SiAR	470605,40	4192400,44	Jaén
Linares	SiAR	449613,41	4215286,45	Jaén
Torreperogil	SiAR	478572,62	4203000,50	Jaén
Sabiote	SiAR	479346,05	4214659,73	Jaén
Torreblascopedro	SiAR	439469,06	4204789,83	Jaén
Pozo Alcón	SiAR	506163,39	4169420,50	Jaén
San José de los Propios	SiAR	479742,20	4190079,45	Jaén
Ubeda	SiAR	473599,06	4199520,03	Jaén
Chiclana de Segura	SiAR	500305,15	4239419,95	Jaén
Alcaudete	SiAR	404779,65	4159460,43	Jaén
Mancha Real	SiAR	447571,04	4196710,53	Jaén
Villanueva del Río y Minas	SiAR	262608,55	4163999,75	Sevilla
IFAPA Centro Las Torres-Tomejí	SiAR	270958,43	4142489,66	Sevilla
Huesa	SiAR	494567,02	4177789,81	Jaén
Los Molares	SiAR	262695,97	4117759,79	Sevilla
Guillena	SiAR	229175,00	4156370,21	Sevilla
Sanlúcar La Mayor	SiAR	211943,44	4146639,94	Sevilla
Lora del Río	SiAR	275891,34	4171230,42	Sevilla
Isla Mayor	SiAR	222652,57	4112039,96	Sevilla
IFAPA Centro de Los Palacios	SiAR	238484,14	4119599,67	Sevilla
Puebla Cazalla	SiAR	291407,58	4121659,92	Sevilla
IFAPA Centro Las Torres-Tomej	SiAR	238016,30	4155860,08	Sevilla
Almonte	SiAR	191221,37	4116989,48	Huelva
Sierra Yeguas	SiAR	336927,91	4111800,13	Málaga
El Carpio	SiAR	367791,33	4197329,64	Córdoba
Córdoba	SiAR	341399,42	4191479,57	Córdoba
Adamuz	SiAR	373099,03	4206529,76	Córdoba
Hornachuelos	SiAR	309616,61	4176929,89	Córdoba
Palma del Rio	SiAR	303720,12	4177719,83	Córdoba
IFAPA Centro de Cabra	SiAR	373516,12	4151099,87	Córdoba
Santaella	SiAR	333381,66	4154499,94	Córdoba
Baena	SiAR	384851,20	4172399,68	Córdoba
IFAPA Centro Camino del Purchi	SiAR	443311,39	4114149,59	Granada
Huéjana	SiAR	503240,23	4118727,40	Granada
Jerez del Marquesado	SiAR	486699,39	4116020,45	Granada
Pinos Puente Casanueva	SiAR	430324,50	4121993,42	Granada
Bélmez	SiAR	306667,29	4236349,49	Córdoba
IFAPA Centro Mengibar	SiAR	430789,64	4199560,28	Jaén
Loja	SiAR	398956,82	4114260,01	Granada
Iznalloz	SiAR	451201,93	4141210,40	Granada
Baza	SiAR	520513,59	4157520,31	Granada
Puebla de Don Fadrique	SiAR	554374,78	4192250,55	Granada

**Tabla 27.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>PUEBLA DE DON RODRIGO</b>	AEMET	360204,96	4327853,43	Ciudad Real
<b>AYAMONTE</b>	AEMET	109845,90	4125530,07	Huelva
<b>VALDEPEÑAS</b>	AEMET	465990,22	4289168,77	Ciudad Real
<b>VISO DEL MARQUÉS</b>	AEMET	450600,03	4263449,04	Ciudad Real
<b>TOMELLOSO</b>	AEMET	499352,11	4335549,49	Ciudad Real
<b>CIUDAD REAL</b>	AEMET	420298,66	4315977,13	Ciudad Real
<b>SAN CLEMENTE</b>	AEMET	549855,56	4363207,01	Cuenca
<b>HINOJOSA DEL DUQUE</b>	AEMET	315005,53	4263240,90	Córdoba
<b>QUINTANAR DE LA ORDEN</b>	AEMET	495969,41	4383086,26	Toledo
<b>MADRIDEJOS</b>	AEMET	454569,05	4371503,71	Toledo
<b>LLERENA</b>	AEMET	235926,94	4235824,14	Badajoz
<b>MÉRIDA</b>	AEMET	206455,45	4312888,08	Badajoz
<b>HERRERA DEL DUQUE</b>	AEMET	321847,40	4337605,79	Badajoz
<b>DON BENITO</b>	AEMET	250389,43	4315791,36	Badajoz
<b>BADAJOZ AEROPUERTO</b>	AEMET	169154,78	4310748,00	Badajoz
<b>JEREZ DE LOS CABALLEROS</b>	AEMET	170732,52	4245657,60	Badajoz
<b>Manzanares</b>	SiAR	469428,09	4330470,17	Ciudad Real
<b>Montiel</b>	SiAR	510308,21	4283169,88	Ciudad Real
<b>PORZUNA</b>	SiAR	393782,39	4343510,32	Ciudad Real
<b>CIUDAD REAL</b>	SiAR	414361,59	4321939,86	Ciudad Real
<b>ALCÁZAR DE SAN JUAN</b>	SiAR	482728,68	4340119,97	Ciudad Real
<b>Herencia</b>	SiAR	471539,87	4358890,28	Ciudad Real
<b>Daimiel</b>	SiAR	440016,05	4317940,34	Ciudad Real
<b>Bolaños</b>	SiAR	446145,38	4311319,56	Ciudad Real
<b>Argamasilla de Alba</b>	SiAR	495017,67	4325229,77	Ciudad Real
<b>Aroche</b>	SiAR	153376,15	4208510,33	Huelva
<b>La Puebla de Guzmán</b>	SiAR	124658,62	4164620,42	Huelva
<b>La Puebla de Almoradiel</b>	SiAR	488335,42	4384360,34	Toledo
<b>EL SANCHÓN</b>	SiAR	560667,04	4357420,00	Cuenca
<b>PEDERNOSO</b>	SiAR	520738,37	4369320,19	Cuenca
<b>Madrigalejo</b>	SiAR	275670,94	4335060,29	Cáceres
<b>GUADALUPE</b>	SiAR	297765,95	4362369,89	Cáceres
<b>IFAPA Centro de Hinojosa del D</b>	SiAR	315518,21	4262999,99	Córdoba
<b>Aliseda</b>	SiAR	186519,74	4353589,77	Cáceres
<b>JUANACO</b>	SiAR	529581,64	4346370,46	Albacete
<b>Santa Amalia</b>	SiAR	241513,84	4322470,48	Badajoz
<b>BERCIAL</b>	SiAR	167914,83	4310100,06	Badajoz
<b>Fuente de Cantos</b>	SiAR	210378,16	4234129,71	Badajoz

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>DON BENITO-EFA</b>	SiAR	252360,16	4318969,70	Badajoz
<b>ARROYO</b>	SiAR	198643,70	4306780,50	Badajoz
<b>PALAZUELO</b>	SiAR	262837,07	4331709,44	Badajoz
<b>RUEDA CHICA</b>	SiAR	176326,11	4313750,26	Badajoz
<b>LA ORDEN</b>	SiAR	181923,28	4307649,43	Badajoz
<b>Olivenza</b>	SiAR	147184,57	4293629,94	Badajoz
<b>Don Benito</b>	SiAR	248957,37	4312729,48	Badajoz
<b>Villagonzalo</b>	SiAR	223468,35	4303540,37	Badajoz
<b>Jerez de los Caballeros</b>	SiAR	173113,22	4243640,40	Badajoz
<b>Azuaga</b>	SiAR	263512,18	4252719,44	Badajoz
<b>Puebla de Alcocer</b>	SiAR	318721,60	4327149,66	Badajoz
<b>Villafranca de los Barros</b>	SiAR	208279,95	4274999,93	Badajoz
<b>Mérida</b>	SiAR	211916,74	4304830,15	Badajoz
<b>Zalamea de la Serena</b>	SiAR	265909,78	4284559,52	Badajoz
<b>Monterrubio de la Serena</b>	SiAR	292404,29	4274149,76	Badajoz

**Tabla 28.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>ALICANTE/ALACANT</b>	AEMET	718904,13	4250118,61	Alicante
<b>JÁVEA/ XÀBIA</b>	AEMET	775167,45	4297531,55	Alicante
<b>ALICANTE-ELCHE AEROPUERTO</b>	AEMET	712467,73	4239981,92	Alicante
<b>VALENCIA AEROPUERTO</b>	AEMET	717181,16	4373644,23	Valencia
<b>VALÈNCIA, VIVEROS</b>	AEMET	726513,81	4373417,82	Valencia
<b>TERUEL</b>	AEMET	659303,42	4468355,39	Teruel
<b>UTIEL</b>	AEMET	650758,01	4382121,24	Valencia
<b>POLINYÀ DE XÚQUER</b>	AEMET	726991,26	4340566,18	Valencia
<b>OLIVA</b>	AEMET	751751,32	4312896,36	Valencia
<b>XÀTIVA</b>	AEMET	714443,85	4319879,08	Valencia
<b>ALBACETE BASE AÉREA</b>	AEMET	599092,54	4312312,21	Albacete
<b>CHINCHILLA</b>	AEMET	616234,42	4310634,29	Albacete
<b>ALBACETE</b>	AEMET	598515,83	4318008,79	Albacete
<b>CUENCA</b>	AEMET	574024,74	4435579,24	Cuenca
<b>CASTELLÓN - ALMASSORA</b>	AEMET	750113,12	4427115,63	Castellón
<b>VINARÒS</b>	AEMET	790406,83	4494922,08	Castellón
<b>VILLAFRANCA DEL CID/VILLAFRANC</b>	AEMET	732768,14	4479471,50	Castellón
<b>Llutxent EEA</b>	SiAR	728810,21	4313267,22	Valencia
<b>Requena Cerrito</b>	SiAR	651971,84	4374274,30	Valencia
<b>Carcaixent EEA</b>	SiAR	720801,65	4332488,54	Valencia
<b>Carlet CE Coop</b>	SiAR	711834,67	4344772,98	Valencia
<b>Algimia de Alfara</b>	SiAR	726168,23	4403529,80	Valencia

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>Bétera</b>	SiAR	717422,71	4386259,72	Valencia
<b>Chulilla</b>	SiAR	685917,12	4394130,03	Valencia
<b>Gandia Marxuquera</b>	SiAR	738207,34	4316410,36	Valencia
<b>Bolbaite</b>	SiAR	699828,65	4326989,70	Valencia
<b>Polinyà de Xúquer</b>	SiAR	725017,65	4341715,38	Valencia
<b>Moncada IVIA</b>	SiAR	723368,02	4385233,09	Valencia
<b>GODELLETA</b>	SiAR	699949,13	4366120,48	Valencia
<b>BÉLGIDA</b>	SiAR	720841,09	4306489,96	Valencia
<b>Picassent</b>	SiAR	715588,22	4359989,53	Valencia
<b>Montesa</b>	SiAR	704639,99	4314379,76	Valencia
<b>Benavites</b>	SiAR	738571,89	4401539,88	Valencia
<b>Algemesí</b>	SiAR	721412,62	4343929,80	Valencia
<b>Campo Arcís</b>	SiAR	657938,36	4366610,02	Valencia
<b>Villalonga</b>	SiAR	742475,82	4308519,93	Valencia
<b>Xàtiva</b>	SiAR	712192,09	4319499,71	Valencia
<b>Sagunt</b>	SiAR	732200,35	4392210,26	Valencia
<b>Pedralba</b>	SiAR	696060,68	4382189,55	Valencia
<b>Llíria</b>	SiAR	703474,19	4396159,50	Valencia
<b>Tavernes de Valldigna</b>	SiAR	738861,93	4330979,91	Valencia
<b>Villanueva de Castellón</b>	SiAR	714191,92	4326970,33	Valencia
<b>Benifaió</b>	SiAR	718924,67	4350990,28	Valencia
<b>Cheste</b>	SiAR	693887,95	4376790,12	Valencia
<b>Callosa d'en Sarrià</b>	SiAR	751970,40	4281913,83	Alicante
<b>Agost</b>	SiAR	705166,12	4255199,83	Alicante
<b>Elx EEA</b>	SiAR	701608,94	4235864,05	Alicante
<b>Ondara</b>	SiAR	761032,73	4300939,92	Alicante
<b>Dénia Gata</b>	SiAR	767731,10	4298289,50	Alicante
<b>Camp de Mirra</b>	SiAR	693719,66	4283550,44	Alicante
<b>Vila Joiosa</b>	SiAR	739182,69	4267960,37	Alicante
<b>Planes</b>	SiAR	729926,79	4296219,95	Alicante
<b>Villena</b>	SiAR	685027,87	4274029,84	Alicante
<b>Monforte del Cid</b>	SiAR	698192,68	4252509,78	Alicante
<b>Altea</b>	SiAR	754319,82	4276839,62	Alicante
<b>Teruel</b>	SiAR	655754,86	4467909,44	Teruel
<b>Motilleja</b>	SiAR	606281,10	4335779,99	Albacete
<b>Caudete</b>	SiAR	675585,17	4289269,45	Albacete
<b>Pozo Cañada</b>	SiAR	608178,37	4295249,80	Albacete
<b>La Gineta</b>	SiAR	585236,97	4328309,60	Albacete
<b>Benicarló</b>	SiAR	787808,82	4481725,07	Castellón
<b>Vila-real EEA</b>	SiAR	744576,92	4425568,66	Castellón
<b>ALMANSA</b>	SiAR	664097,31	4307740,23	Albacete
<b>ALBACETE</b>	SiAR	595165,78	4311730,41	Albacete

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>TARAZONA</b>	SiAR	593160,09	4345720,21	Albacete
<b>Castelló Benadresa</b>	SiAR	745964,97	4430549,76	Castellón
<b>Burriana</b>	SiAR	747478,32	4419320,13	Castellón
<b>Vall d'Uixó</b>	SiAR	737127,31	4408769,86	Castellón
<b>San Rafael del Río</b>	SiAR	784970,23	4499150,33	Castellón
<b>Segorbe</b>	SiAR	715426,81	4410509,47	Castellón
<b>Onda</b>	SiAR	739848,63	4427959,71	Castellón
<b>Ribera de Cabanes</b>	SiAR	768075,90	4447369,50	Castellón
<b>Nules</b>	SiAR	742155,39	4417970,38	Castellón
<b>Cañete</b>	SiAR	615187,88	4431789,99	Cuenca
<b>Villanueva de la Jara</b>	SiAR	599273,83	4362320,07	Cuenca
<b>El Picazo</b>	SiAR	578157,14	4367639,73	Cuenca
<b>Mariana</b>	SiAR	573120,16	4445040,04	Cuenca

**Tabla 29.** Estaciones empleadas en la Demarcación hidrográfica del Miño-Sil.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>A POBRA DE TRIVES</b>	AEMET	147193,83	4696354,59	Ourense
<b>XINZO DE LIMIA</b>	AEMET	108414,05	4669419,49	Ourense
<b>LUGO AEROPUERTO</b>	AEMET	137309,04	4782836,48	Lugo
<b>PUERTO DE LEITARIEGOS</b>	AEMET	221678,82	4765825,26	Asturias
<b>PONFERRADA</b>	AEMET	204486,45	4718671,28	León
<b>OURENSE</b>	AEMET	99540,33	4697342,33	Ourense
<b>CARBALLIÑO, O</b>	AEMET	80995,15	4709142,85	Ourense
<b>Castro de Rei</b>	SiAR	135107,71	4787804,29	Lugo
<b>Monforte de Lemos</b>	SiAR	130126,59	4715889,79	Lugo
<b>Carracedelo</b>	SiAR	195584,64	4719673,53	León

**Tabla 30.** Estaciones empleadas en la Demarcación hidrográfica del Segura.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>PINOSO</b>	AEMET	671322,03	4251988,91	Alicante
<b>HELLÍN</b>	AEMET	613027,36	4266744,82	Albacete
<b>CIEZA</b>	AEMET	641736,75	4232882,51	Murcia
<b>MURCIA</b>	AEMET	660598,37	4207609,41	Murcia
<b>SAN JAVIER AEROPUERTO</b>	AEMET	693232,28	4183488,36	Murcia
<b>CARAVACA DE LA CRUZ</b>	AEMET	598441,04	4217782,93	Murcia
<b>LORCA</b>	AEMET	615799,27	4168317,37	Murcia
<b>YECLA</b>	AEMET	660248,66	4274180,54	Murcia
<b>ÁGUILAS</b>	AEMET	625041,18	4142094,82	Murcia
<b>CARTAGENA</b>	AEMET	677629,78	4163462,61	Murcia

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Almoradí	SiAR	695317,97	4211639,90	Alicante
Pilar de la Horadada	SiAR	692407,85	4193490,23	Alicante
Pinoso	SiAR	669278,10	4255019,67	Alicante
Crevillente	SiAR	694005,83	4234859,89	Alicante
Catral	SiAR	692275,04	4225079,50	Alicante
Orihuela - La Murada	SiAR	678795,94	4227878,12	Alicante
Abanilla (La Jaira)	SiAR	670465,69	4226409,92	Murcia
Torre Pacheco (Torre Pacheco)	SiAR	677368,42	4179730,50	Murcia
Caravaca (Barranda)	SiAR	588684,60	4211200,08	Murcia
Jumilla (Roman)	SiAR	646369,60	4242420,53	Murcia
Ontur	SiAR	630945,89	4276000,48	Albacete
San Javier (El Mirador)	SiAR	686090,77	4190859,79	Murcia
Jumilla (Cª del Judío)	SiAR	637692,97	4250799,47	Murcia
Torre Pacheco (Torre Blanca)	SiAR	685067,26	4182779,70	Murcia
Jumilla (Las Encebras)	SiAR	653748,17	4251049,99	Murcia
Yecla (Pinillos)	SiAR	664448,17	4269939,61	Murcia
Murcia (La Alberca)	SiAR	663918,28	4200809,97	Murcia
Mula (Mula)	SiAR	634434,30	4211269,74	Murcia
Torre Pacheco (Los Infiernos)	SiAR	682044,22	4188289,99	Murcia
San Javier (Santiago de la Rib	SiAR	691865,02	4184729,51	Murcia
Cehegín (La Torrecita)	SiAR	606970,57	4218100,31	Murcia
Fuente Alamo (Campillo bajo)	SiAR	655351,16	4173880,45	Murcia
Murcia (Cabezo Plata)	SiAR	677087,84	4205239,78	Murcia
Mazarrón (Cañada Gallego)	SiAR	644682,94	4159260,06	Murcia
Blanca (Estación de Blanca)	SiAR	647927,03	4233289,82	Murcia
Cieza (La Carrichosa)	SiAR	631283,08	4239069,96	Murcia
Cehegín (El Chaparral)	SiAR	615441,72	4219039,55	Murcia
Puerto Lumbreras (El Esparraga	SiAR	612404,04	4160929,46	Murcia
Corvera	SiAR	665199,09	4188760,09	Murcia
Casa Rosa de Ulea	SiAR	652563,42	4228480,38	Murcia
Beniel	SiAR	675543,00	4211530,16	Murcia
Yecla	SiAR	657845,06	4280490,08	Murcia
Calasparra (Rotas)	SiAR	614199,78	4234749,62	Murcia
Molina de Segura (Campotejar)	SiAR	655952,20	4221450,25	Murcia
LIBRILLA LA EGESA	SiAR	648641,96	4195008,35	Murcia
Alhama (La Calavera)	SiAR	639382,04	4183909,74	Murcia
Turilla: La Paca	SiAR	604001,70	4190450,03	Murcia
Purias-Lorca	SiAR	620980,59	4162509,51	Murcia
Forja, S,A,-Fuente Alamo	SiAR	664814,18	4179529,85	Murcia
La Aljorra	SiAR	670824,53	4171706,11	Murcia
Finca Venta de Ulea-Moratalla	SiAR	603921,65	4228299,71	Murcia

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>Puerto Lumbreras</b>	SiAR	615444,87	4151559,67	Murcia
<b>Charco de Taray</b>	SiAR	661844,76	4225289,87	Murcia
<b>Finca Taray (Torres de cotilla</b>	SiAR	649022,75	4207950,07	Murcia
<b>Finca experimental de Aguilas</b>	SiAR	624578,10	4142249,67	Murcia
<b>Finca experimental de Totana (</b>	SiAR	631021,57	4177169,90	Murcia
<b>Virgen de Fátima-Cuevas de Almanzora</b>	SiAR	608847,14	4138750,52	Almería

**Tabla 31.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Tajo.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>TOLEDO</b>	AEMET	410624,65	4415485,45	Toledo
<b>SAN PABLO DE LOS MONTES</b>	AEMET	383956,66	4378345,35	Toledo
<b>SOTILLO DE LA ADRADA</b>	AEMET	364777,49	4461005,10	Ávila
<b>TALAVERA DE LA REINA</b>	AEMET	340821,74	4424826,36	Toledo
<b>SIGÜENZA</b>	AEMET	532080,17	4548417,39	Guadalajara
<b>GUADALAJARA</b>	AEMET	487314,54	4497726,52	Guadalajara
<b>MOLINA DE ARAGÓN</b>	AEMET	594513,32	4521785,55	Guadalajara
<b>VALENCIA DE ALCÁNTARA</b>	AEMET	134276,15	4371571,22	Cáceres
<b>NAVALMORAL DE LA MATA</b>	AEMET	279371,23	4424938,93	Cáceres
<b>PLASENCIA</b>	AEMET	236737,55	4437099,45	Cáceres
<b>CORIA</b>	AEMET	196314,65	4434222,89	Cáceres
<b>TRUJILLO</b>	AEMET	254520,39	4374211,82	Cáceres
<b>CÁCERES</b>	AEMET	212776,47	4374412,63	Cáceres
<b>MADRID, RETIRO</b>	AEMET	442470,47	4473701,34	Madrid
<b>ROBLEDO DE CHAVELA</b>	AEMET	393967,82	4475988,25	Madrid
<b>COLMENAR VIEJO</b>	AEMET	435367,45	4505304,76	Madrid
<b>MADRID, CIUDAD UNIVERSITARIA</b>	AEMET	438594,29	4478141,54	Madrid
<b>CAÑIZARES</b>	AEMET	571991,80	4486962,61	Cuenca
<b>TARANCÓN</b>	AEMET	498174,55	4429021,49	Cuenca
<b>BUITRAGO DEL LOZOYA</b>	AEMET	448399,64	4539709,26	Madrid
<b>MADRID AEROPUERTO</b>	AEMET	452902,23	4479702,94	Madrid
<b>LA COVATILLA, ESTACIÓN DE ESQU</b>	AEMET	271562,19	4470633,68	Salamanca
<b>ARANJUEZ</b>	AEMET	453429,74	4435361,13	Madrid
<b>La Rinconada</b>	SiAR	379873,41	4410060,54	Toledo
<b>MAGAN</b>	SiAR	419483,70	4420980,16	Toledo
<b>Recas</b>	SiAR	416574,86	4434449,86	Toledo
<b>Villarubia de Santiago</b>	SiAR	471476,22	4431689,87	Toledo
<b>Mora</b>	SiAR	433719,01	4390829,68	Toledo
<b>Marchamalo</b>	SiAR	482269,79	4503340,54	Guadalajara
<b>Los Navalmorales</b>	SiAR	357972,59	4398279,84	Toledo

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Alcolea de Tajo	SiAR	316735,79	4409359,74	Toledo
VEGAS DE SAN ANTONIO	SiAR	354802,80	4424260,44	Toledo
Mirabel	SiAR	225348,78	4416430,04	Cáceres
Prados Redondos	SiAR	601353,90	4516820,31	Guadalajara
Illana	SiAR	501170,96	4450960,23	Guadalajara
JADRAQUE	SiAR	504494,27	4530680,32	Guadalajara
Armuña de Tajuña	SiAR	498821,88	4486630,34	Guadalajara
Valdastillas	SiAR	255607,83	4447376,48	Cáceres
Valdesalor	SiAR	213209,42	4362879,76	Cáceres
Coria-Puebla de Argeme	SiAR	204857,68	4429511,84	Cáceres
Moraleja	SiAR	185457,20	4441660,30	Cáceres
Madroñera	SiAR	262361,96	4372009,46	Cáceres
ALCANTARA	SiAR	165984,18	4406899,65	Cáceres
Zarza de Granadilla	SiAR	241859,00	4455280,18	Cáceres
Hurdes-Azabal	SiAR	219034,26	4466139,57	Cáceres
Aldehuela del Jerte	SiAR	224276,41	4433680,42	Cáceres
Peraleda de la Mata	SiAR	289239,95	4415249,73	Cáceres
Casatejada	SiAR	270942,99	4416519,61	Cáceres
Gargantilla	SiAR	249779,72	4458439,88	Cáceres
Talayuela	SiAR	281141,05	4432150,21	Cáceres
Valdeiñigos-Tejeda de Tíetar	SiAR	255707,64	4427239,78	Cáceres
Jarandilla de la Vera	SiAR	274429,92	4442369,63	Cáceres
Villa del Prado	SiAR	391737,87	4456390,18	Madrid
San Martín de la Vega	SiAR	452365,76	4453799,88	Madrid
Chinchón	SiAR	460100,85	4449199,66	Madrid
Aranjuez	SiAR	446220,06	4432570,33	Madrid
Fuentidueña de Tajo	SiAR	485162,12	4439660,01	Madrid
Center Finca experimental	SiAR	457867,02	4473609,63	Madrid
Arganda	SiAR	457692,84	4462409,46	Madrid
Barajas de Melo	SiAR	505437,73	4440422,17	Cuenca
Villaconejos de Trabaque	SiAR	557291,81	4473879,97	Cuenca

**Tabla 32.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
ALAJAR	AEMET	176714,92	4197606,62	Huelva
HUELVA, RONDA ESTE	AEMET	153155,68	4132927,10	Huelva
MOGUER, EL ARENOSILLO	AEMET	167765,38	4112292,51	Huelva
Gibraleón	SiAR	140652,06	4148359,52	Huelva
Moguer	SiAR	163136,87	4117859,99	Huelva
Lepe	SiAR	123877,20	4136899,46	Huelva

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>La Palma del Condado</b>	SiAR	186353,71	4141470,26	Huelva
<b>Gibraleón - Manzorralles</b>	SiAR	144097,00	4136702,13	Huelva
<b>Niebla</b>	SiAR	169097,79	4139929,46	Huelva
<b>El Campillo</b>	SiAR	182491,17	4174300,07	Huelva
<b>IFAPA Centro Las Torres-Tomejil</b>	SiAR	162673,82	4128309,63	Huelva

**Tabla 33.** Estaciones empleadas en la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
<b>PORQUERES</b>	AEMET	976628,81	4677474,92	Girona
<b>ROOLL</b>	AEMET	929095,74	4684112,84	Girona
<b>VANDELLÒS</b>	AEMET	825831,31	4541322,56	Tarragona
<b>REUS AEROPUERTO</b>	AEMET	850696,57	4563801,48	Tarragona
<b>SANTA SUSANNA</b>	AEMET	974469,61	4626713,98	Barcelona
<b>BARCELONA</b>	AEMET	934811,91	4595179,10	Barcelona
<b>ARENYS DE MAR</b>	AEMET	961846,93	4618823,84	Barcelona
<b>MANRESA</b>	AEMET	902668,04	4630022,23	Barcelona
<b>Banyoles</b>	RURALCAT	978695,79	4678962,75	Girona
<b>Cabanes</b>	RURALCAT	990873,90	4701007,62	Girona
<b>Anglés</b>	RURALCAT	966717,75	4660801,48	Girona
<b>Castelló d'Empúries</b>	RURALCAT	1002510,67	4695220,39	Girona
<b>Espolla</b>	RURALCAT	994592,55	4709972,75	Girona
<b>Cassá de la Selva</b>	RURALCAT	991913,73	4652855,39	Girona
<b>Castell d'Áro</b>	RURALCAT	1001187,83	4646145,59	Girona
<b>Vacarisses</b>	RURALCAT	909695,30	4616216,16	Barcelona
<b>Vallirana</b>	RURALCAT	912754,13	4592928,93	Barcelona
<b>Santuari de Queralt</b>	RURALCAT	899110,44	4672982,56	Barcelona
<b>Tagamanent-PN del Montseny</b>	RURALCAT	940977,43	4635362,92	Barcelona
<b>Vilassar de Mar</b>	RURALCAT	949591,94	4609599,28	Barcelona
<b>Viladecans</b>	RURALCAT	921840,91	4584237,79	Barcelona
<b>Vilanova del Vallés</b>	RURALCAT	942137,72	4612776,56	Barcelona
<b>Sabadell-Parc Agrari</b>	RURALCAT	922754,94	4613982,10	Barcelona
<b>Sant Llorenç Savall</b>	RURALCAT	918413,61	4626612,66	Barcelona
<b>Puig Sesolles (1668m)</b>	RURALCAT	952010,15	4638954,18	Barcelona
<b>Rellinars</b>	RURALCAT	909621,08	4620707,09	Barcelona
<b>Sant Sadurní d'Anoia</b>	RURALCAT	900610,17	4598026,83	Barcelona
<b>Sant Salvador de Guardiola</b>	RURALCAT	896933,78	4624575,43	Barcelona
<b>Sant Martí Sarroca</b>	RURALCAT	887255,79	4590732,06	Barcelona

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Sant Pere de Ribes-PN del Garr	RURALCAT	902446,32	4580832,63	Barcelona
Muntanyola	RURALCAT	929770,84	4649229,56	Barcelona
Ódena	RURALCAT	887891,80	4614324,17	Barcelona
Montesquiu	RURALCAT	931163,19	4675697,92	Barcelona
Montserrat-Sant Dimes	RURALCAT	903216,29	4616169,01	Barcelona
Perafita	RURALCAT	923816,17	4666856,79	Barcelona
PN del Garraf-el Rasclet	RURALCAT	911010,94	4582394,59	Barcelona
Orís	RURALCAT	930925,73	4671134,51	Barcelona
Parets del Vallés	RURALCAT	935812,89	4614948,79	Barcelona
Ventalló	RURALCAT	1001274,30	4684485,01	Girona
Vilablareix	RURALCAT	978765,40	4660858,37	Girona
Torroella de Montgrí	RURALCAT	1009842,72	4670712,85	Girona
Ulldeter (2364m)	RURALCAT	932159,93	4710019,89	Girona
Viladrau	RURALCAT	949965,09	4646236,67	Girona
Vilobí d'Onyar	RURALCAT	976551,76	4652694,70	Girona
Roses	RURALCAT	1009868,90	4698365,56	Girona
Sant Pau de Segúries	RURALCAT	942519,04	4692417,68	Girona
Olot	RURALCAT	951823,48	4685174,43	Girona
Portbou	RURALCAT	1007265,65	4716546,87	Girona
Serra de Daró	RURALCAT	1001932,55	4670803,70	Girona
Torroella de Fluviá	RURALCAT	1000705,94	4687737,28	Girona
Sant Pere Pescador	RURALCAT	1003614,26	4687472,94	Girona
Santa Coloma de Farners	RURALCAT	970191,59	4650312,45	Girona
la Bisbal d'Empordá	RURALCAT	1000113,86	4664930,25	Girona
la Tallada d'Empordá	RURALCAT	1001709,12	4673582,54	Girona
Fornells de la Selva	RURALCAT	982789,42	4656707,63	Girona
Girona	RURALCAT	981131,22	4664141,37	Girona
Monells	RURALCAT	996933,41	4664679,26	Girona
Núria (1971m)	RURALCAT	924317,34	4706910,17	Girona
la Vall d'en Bas	RURALCAT	950766,76	4680359,46	Girona
Molló-Fabert	RURALCAT	945825,10	4705876,21	Girona
el Montmell	RURALCAT	875515,04	4586415,99	Tarragona
el Perelló	RURALCAT	813136,82	4531295,29	Tarragona
Constantí	RURALCAT	849646,63	4566152,85	Tarragona
Cunit	RURALCAT	888546,24	4571527,92	Tarragona
l'Espluga de Francolí	RURALCAT	842711,63	4590432,86	Tarragona
la Bisbal del Penedés	RURALCAT	874199,61	4578530,80	Tarragona
el Vendrell	RURALCAT	879051,68	4572548,45	Tarragona
l'Ametlla de Mar	RURALCAT	817482,98	4535509,59	Tarragona
el Port del Comte (2316m)	RURALCAT	873637,74	4679959,97	Lleida
Solsona	RURALCAT	873757,30	4658261,10	Lleida
Clariana de Cardener	RURALCAT	880124,61	4655032,39	Lleida

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Alcanar	RURALCAT	798314,67	4495645,16	Tarragona
Blancafort	RURALCAT	847550,17	4596224,86	Tarragona
Gurb	RURALCAT	933749,06	4657734,06	Barcelona
la Granada	RURALCAT	895528,19	4590208,29	Barcelona
Gisclareny	RURALCAT	892796,85	4690166,06	Barcelona
Guardiola de Berguedá	RURALCAT	902288,20	4687290,97	Barcelona
la Quar	RURALCAT	910509,66	4670623,66	Barcelona
Malgrat de Mar	RURALCAT	979465,53	4626625,92	Barcelona
la Llacuna	RURALCAT	878705,52	4601749,05	Barcelona
la Panadella	RURALCAT	866757,61	4615013,06	Barcelona
Castellnou de Bages	RURALCAT	902530,47	4642375,75	Barcelona
Dosrius-PN Montnegre Corredor	RURALCAT	953723,07	4621921,08	Barcelona
Canaletes	RURALCAT	891865,11	4603263,43	Barcelona
Castellbisbal	RURALCAT	915464,89	4603888,11	Barcelona
els Hostalets de Pierola	RURALCAT	901165,28	4608890,17	Barcelona
Font-rubí	RURALCAT	886370,73	4597145,90	Barcelona
el Pont de Vilomara	RURALCAT	905456,90	4628661,19	Barcelona
el Prat de Llobregat	RURALCAT	925119,76	4589018,99	Barcelona
Artés	RURALCAT	910224,96	4638724,15	Barcelona
Cabrils	RURALCAT	948738,19	4610211,69	Barcelona
Caldes de Montbui	RURALCAT	930686,76	4619689,33	Barcelona
Barcelona-el Raval	RURALCAT	932158,52	4594278,03	Barcelona
Barcelona-Observatori Fabra	RURALCAT	928252,27	4597917,76	Barcelona
Riudoms	RURALCAT	837314,57	4561795,76	Tarragona
Santa Coloma de Queralt	RURALCAT	864472,05	4606681,61	Tarragona
Nulles	RURALCAT	860192,09	4575533,58	Tarragona
Rioudecanyes	RURALCAT	833258,38	4559976,95	Tarragona
Vinyols i els Arcs	RURALCAT	841632,15	4555629,55	Tarragona
Torredembarra	RURALCAT	870824,35	4564468,37	Tarragona
Vila-rodona	RURALCAT	865237,93	4582057,09	Tarragona