

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

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

MATERIALES, MÉTODOS Y RESULTADOS

19

1. EL SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA EL REGADÍO (SIAR) Y EL PROYECTO ESPACIO SIAR 21

2. METODOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS BÁSICOS 22

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 / SOMBRAS	27
2.6.1.	SENTINEL 2.....	27
2.6.1.1	CLASIFICACION 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 SOMBRAS (MSN)	29
2.6.1.4	APLICACIÓN DE LA MÁSCARA AL NDVI: CONSTRUCCION DEL NDVI LIBRE DE NUBES Y SOMBRAS	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

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EN EL PROCESO DE CLASIFICACION DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO MEDIANTE RECURSOS DE TELDETECCIÓN Y APOYO CARTOGRÁFICO 35

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
4.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y METODOLÓGICAS EN EL PROCESO DE SIMULACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DIARIAS.	46
4.1.	ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL MODELO EMPLEADO.....	46
4.1.1.	El modelo FAO-56 de coeficiente dual.....	46
4.1.2.	Asimilación del coeficiente de cultivo basado en reflectividad.....	46
4.1.3.	Cultivos en condiciones no estándar. Balance de agua en la capa de suelo.....	47
4.1.4.	Componentes del balance de agua en el suelo: las necesidades de agua de riego.....	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
5.	CONTROL DE CALIDAD SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	55
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
6.	ACCESO A LAS SECUENCIAS TEMPORALES DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y LOS PRODUCTOS	56
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
7.	CONCLUSIONES	59
8.	BIBLIOGRAFÍA	61

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

ÍNDICE DE TABLAS

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

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

ÍNDICE DE FIGURAS

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.	3
FIGURA 2. CONJUNTO DE PRODUCTOS BÁSICOS TRAS EL PROCESADO DE LAS IMÁGENES SENTINEL Y RESOLUCIÓN ESPACIAL GENERADOS EN ESPACIO SIAR	5
FIGURA 3. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL BALANCE DE AGUA EN SUELO ASISTIDO POR TELEDETECCIÓN ESPACIAL Y TEMPORALMENTE DISTRIBUIDO DESARROLLADO	8
FIGURA 4. ASPECTO DE LA WEB DEL PROYECTO ESPACIO SIAR WWW.ESPACIOSIAR.ES DONDE SE HAN CARGADO LOS PRODUCTOS PARA SU CONSULTA LIBRE Y GRATUITA POR LOS DIFERENTES USUARIOS DEL AGUA.....	9
FIGURA 5. NECESIDADES HÍDRICAS (MM)	10
FIGURA 6. DIAGRAMA DEL PROCESAMIENTO BÁSICO DE IMÁGENES DE LOS SATÉLITES SENTINEL – 2 (S2)	22
FIGURA 7. ÁMBITO ESPACIAL. DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA (LÍNEA AZUL), ZONAS REGABLES (POLÍGONOS VERDES) Y ESTACIONES DEL AGROMETEOROLÓGICAS.	23
FIGURA 8. GRÁNULOS SENTINEL 2-A PARA LA PENÍNSULA Y BALEARES..	25
FIGURA 9. CO-REGISTRACIÓN TEMPORAL DE IMÁGENES SENTINEL2	26
FIGURA 10. PÍXELES ENMASCARADOS INCORRECTAMENTE COMO NUBES	28
FIGURA 11. COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS CON GOOGLE EARTH ENGINE	29
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.....	30
FIGURA 13. CONSULTAS AL DATACUBE (I): CÁLCULO DE SERIES TEMPORALES DE NDVI. CONSULTAS AL DATACUBE (II): GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE NDVI POR FECHAS.	34
FIGURA 14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN.	35
FIGURA 15. ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN.....	39
FIGURA 16. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES USOS DE SUELO EN REGADÍO CLASIFICADOS.....	41
FIGURA 17. COEFICIENTE DE ESTRÉS HÍDRICO, Ks (ALLEN ET AL., 1998).	48
FIGURA 18. BALANCE DE AGUA EN LA ZONA RADICULAR (ALLEN ET AL., 1998).....	49

FIGURA 19. TILEADO DE LOS USOS DEL SUELO	50
FIGURA 20. CONJUNTO DE PRODUCTOS BÁSICOS TRAS EL PROCESADO DE LAS IMÁGENES LANDSAT 8 Y RESOLUCIÓN ESPACIAL GENERADOS EN ESPACIO SiAR	56
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.....	57
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.....	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
- ETo:** Evapotranspiración del cultivo de referencia
- ETc:** 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 atmosfera (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 conlleven 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. 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_o) 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_c) 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).

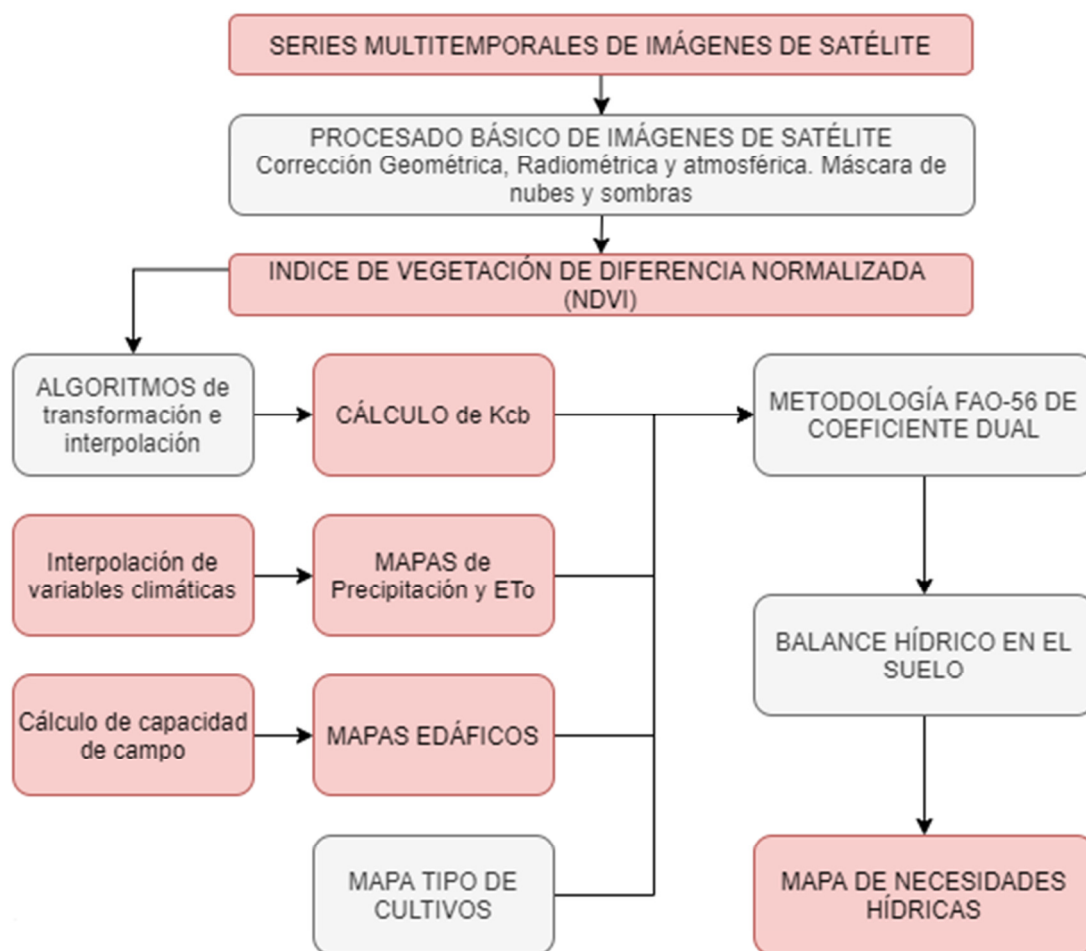


Figura 1. Esquema metodológico de trabajo en ESPACIO SiAR para la integración de la teledetección y del SiAR. Contiene varias partes de trabajo bien diferenciadas por las que finalmente se obtienen diferentes productos válidos en la monitorización de las superficies regables.

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"> Secuencias temporales de imágenes NDVI, RGB y Kcb 	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"> Mapas temáticos de cultivos en regadío. Mapas de cambios en el uso del suelo de regadío 	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"> Mapas temáticos de la evapotranspiración actual (ET_c) Mapas temáticos de las necesidades de riego (R) 	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"> Plataforma de distribución de la información 	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 km², 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 procesamiento 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.

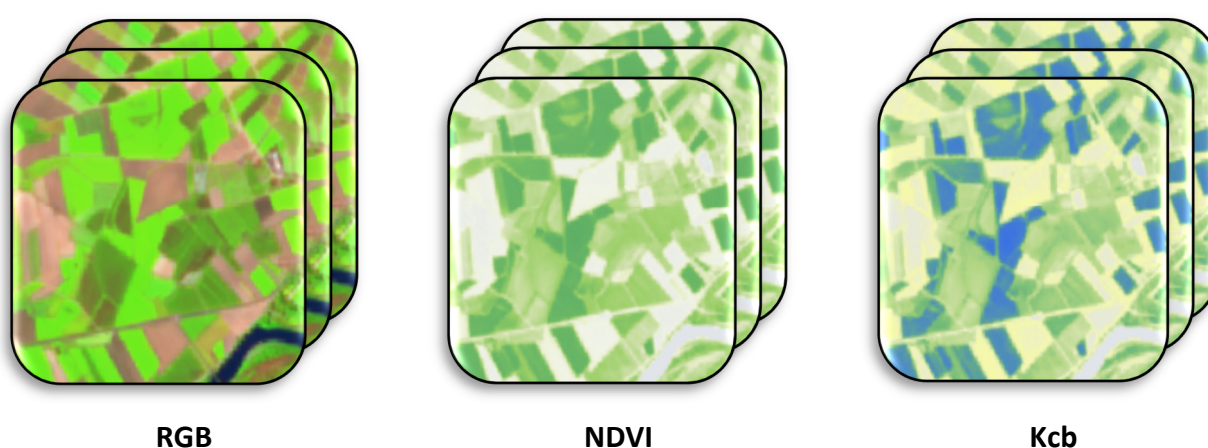


Figura 2. Conjunto de productos básicos tras el procesado de las imágenes sentinel y resolución espacial generados en **ESPACIO SiAR**

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 REGADIO	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.
Invernadero	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 procesamiento 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 Alimentación

de la Generalitat de Catalunya (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.

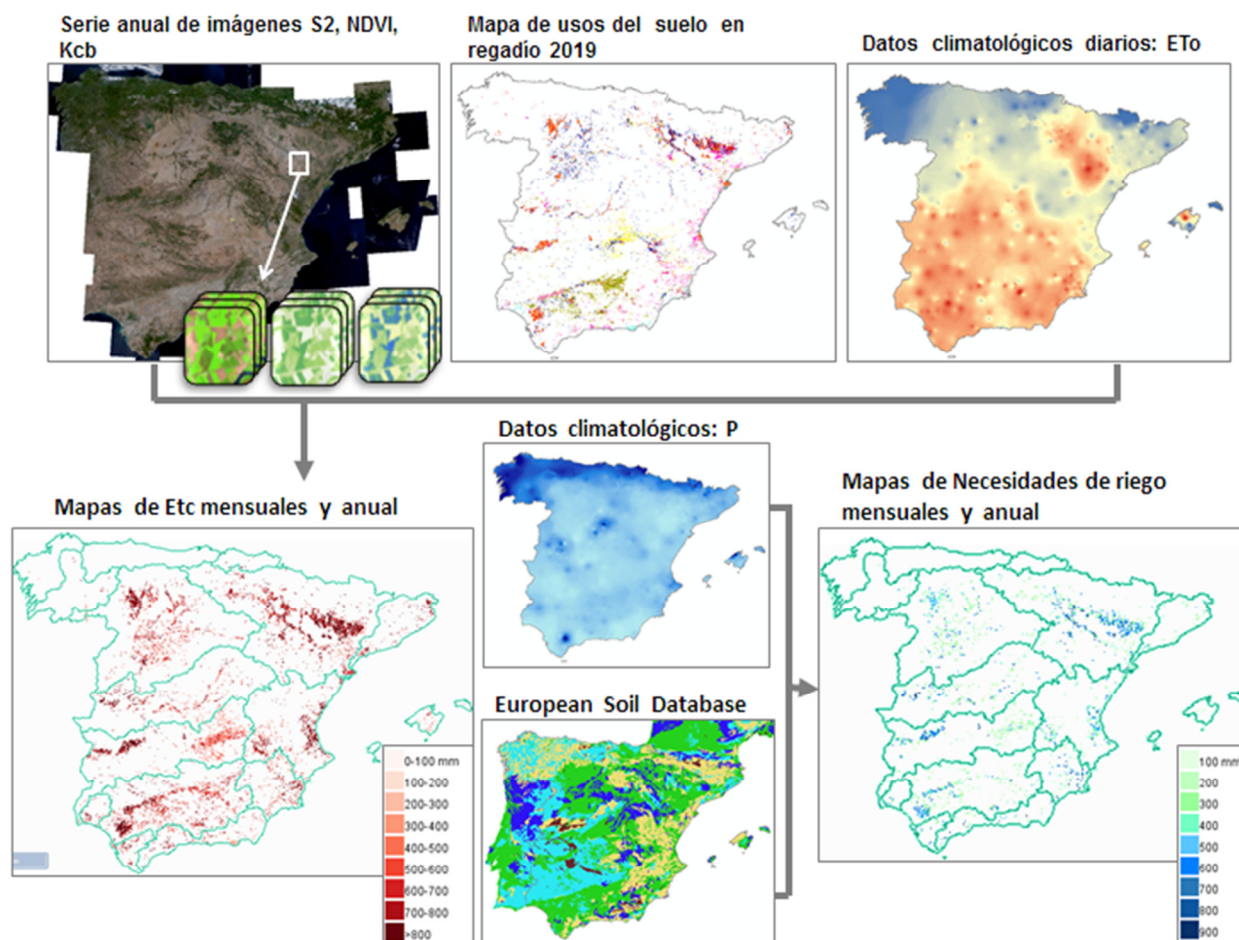


Figura 3. Esquema metodológico del balance de agua en suelo asistido por teledetección espacial y temporalmente distribuido desarrollado

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**.

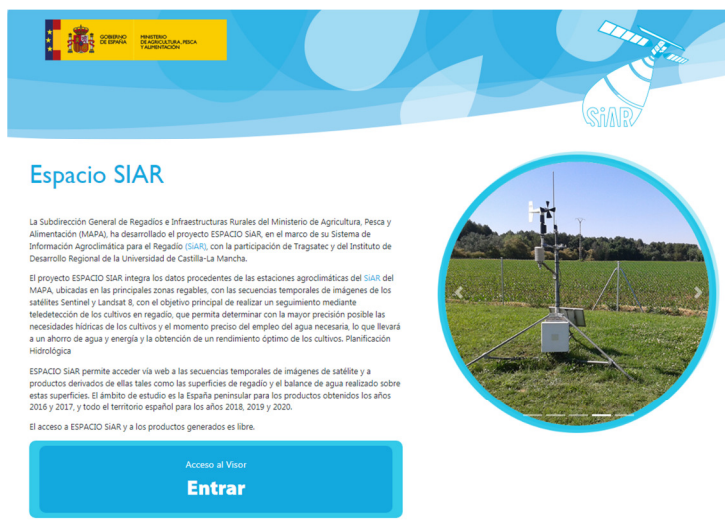


Figura 4. Aspecto de la web del proyecto **ESPACIO SiAR** www.espaciosiar.es donde se han cargado los productos para su consulta libre y gratuita por los diferentes usuarios del agua

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^3 en el territorio peninsular, 134 hm^3 en las Islas Canarias y de 43 hm^3 en las Islas Baleares, arrojando un total de 14.125 hm^3 , lo que supone un incremento de alrededor del 36% con respecto a los 10.420 hm^3 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_0 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_0 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%.

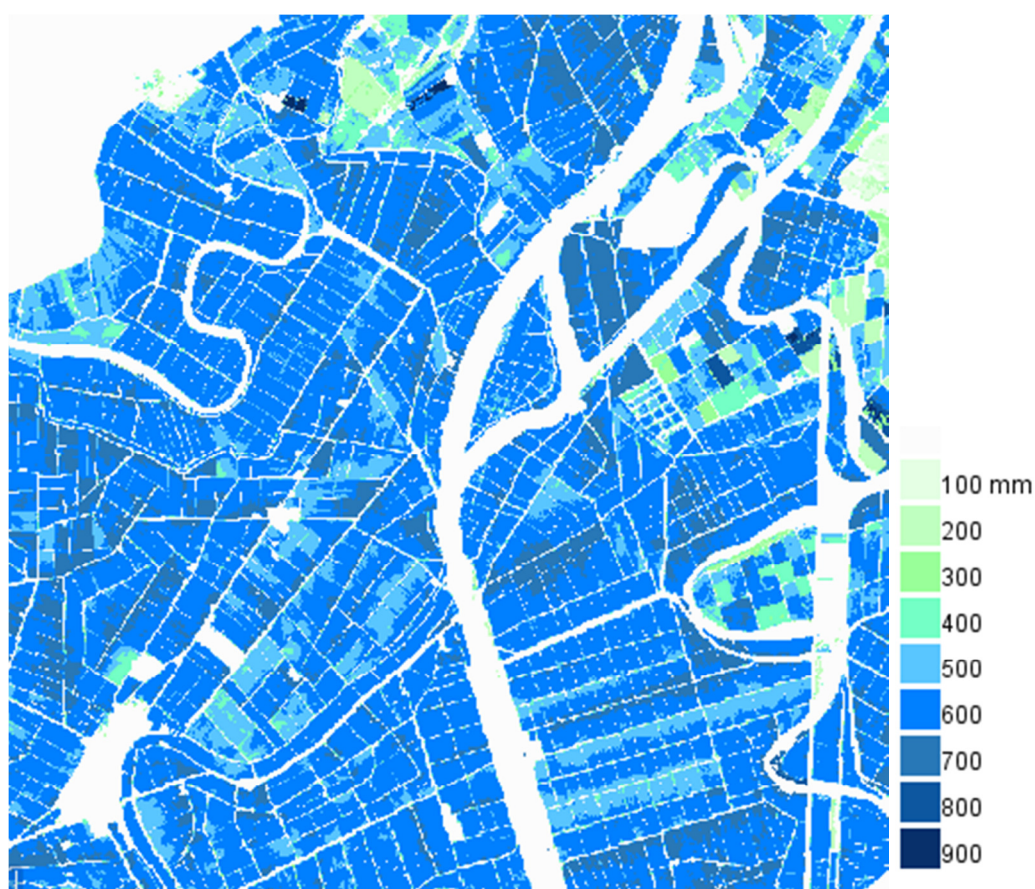


Figura 5. Necesidades hídricas (mm)

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
TOTAL	841.027	692.680	401.875	33.220	305.855	741.899	296.339	403.022	69.733	3.785.648

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

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 (hm³/año) por demarcaciones hidrográficas en el año 2019.

Demarcación Hidrográfica	Volumen de riego neto (hm ³)
	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
Cantábrico Occidental	4
El Hierro	2
Lanzarote	0
Fuerteventura	0
TOTAL	14.125

Tabla 6. Volumen de riego neto mensual (hm^3/mes) en demarcación hidrográfica, 2019.

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

Tabla 7. Volumen de riego neto mensual (hm³/mes) por comunidad autónoma, 2019.

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

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
www.espaciosiar.es	www.siar.es

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		OTOÑO
	PRIMAVERA-OTOÑO		Viñedo (VR)
	VERANO		Olivar (OR)
	VERANO-OTOÑO		Cítricos (FC)
	PRIMAVERA-VERANO		Frutales (FR)
	ANUAL		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
- **Nomenclator 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 Nomenclátors 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.

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 m² 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.

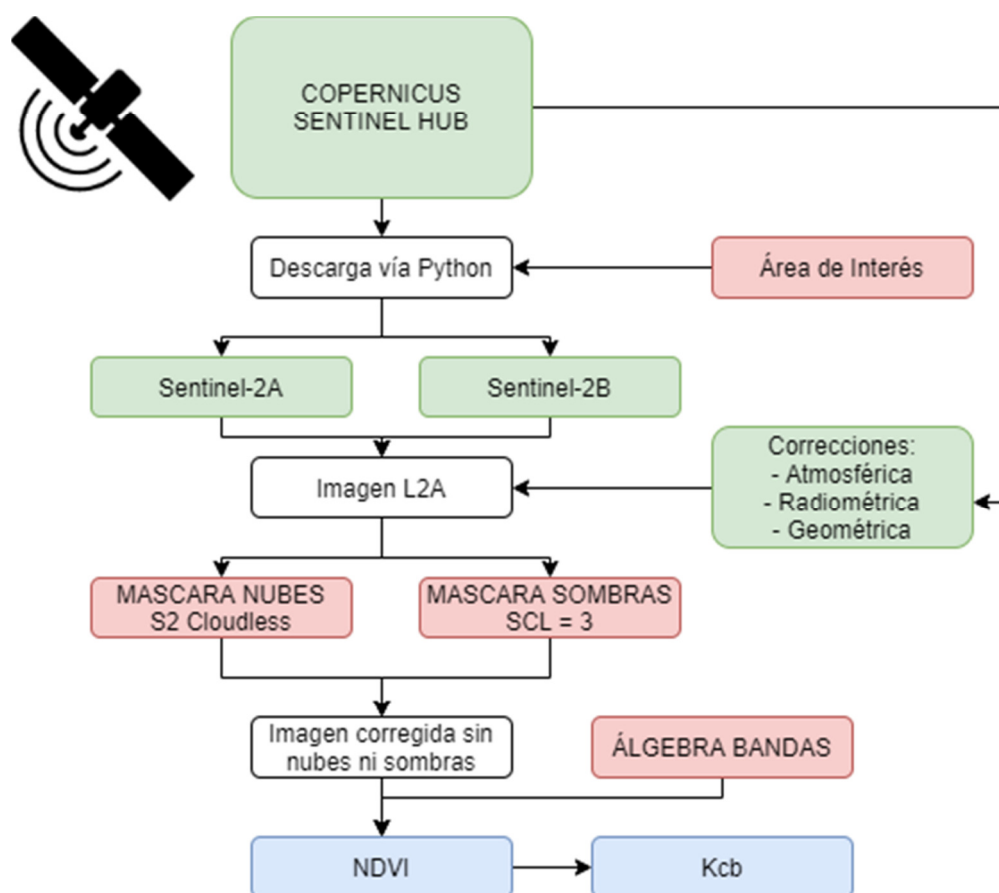


Figura 6. Diagrama del procesamiento básico de imágenes de los satélites Sentinel – 2 (S2)

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.

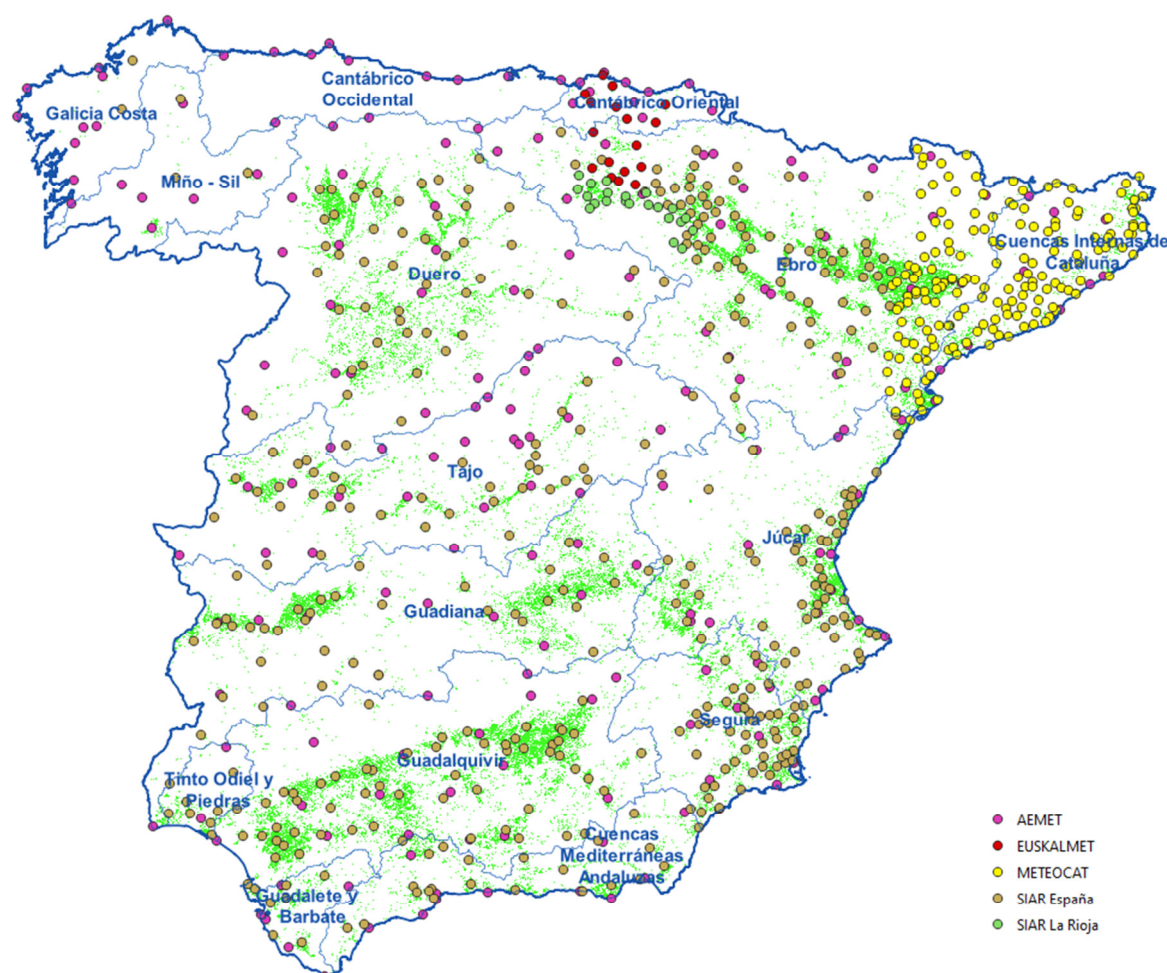


Figura 7. Ámbito espacial. Demarcaciones hidrográficas de la península Ibérica (línea azul), zonas regables (polígonos verdes) y estaciones del agrometeorológicas.

2.3. IMÁGENES EMPLEADAS

Para el cálculo de las necesidades hídricas se han empleado imágenes del satélite Sentinel – 2 (S2A y S2B) que permiten disponer de 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
Barrido	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)
Bandas espectrales y longitud de onda central (nm)	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
Resolución espacial	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)
Tiempo de revisita	16 días	10 días	10 días

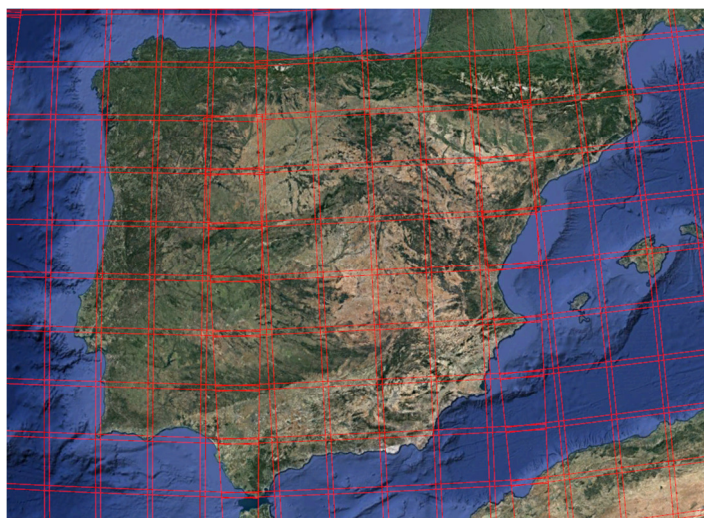


Figura 8. Gránulos Sentinel 2-A para el territorio peninsular y Balear

2.4. ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes de satélite multispectrales 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 datum 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.

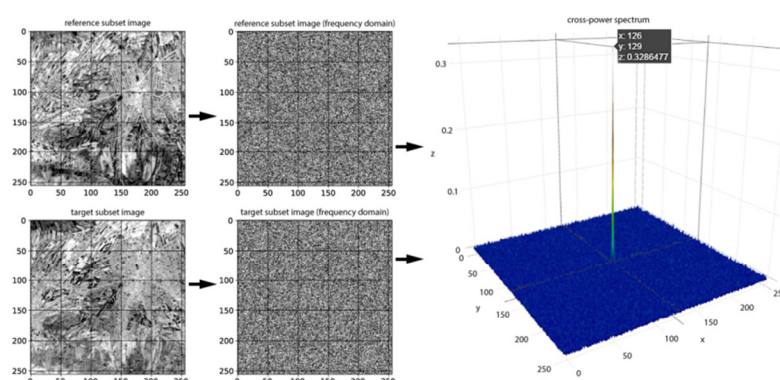


Figura 9. Co-registración temporal de imágenes Sentinel2

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 / SOMBRAS

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 determinadamente 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>)

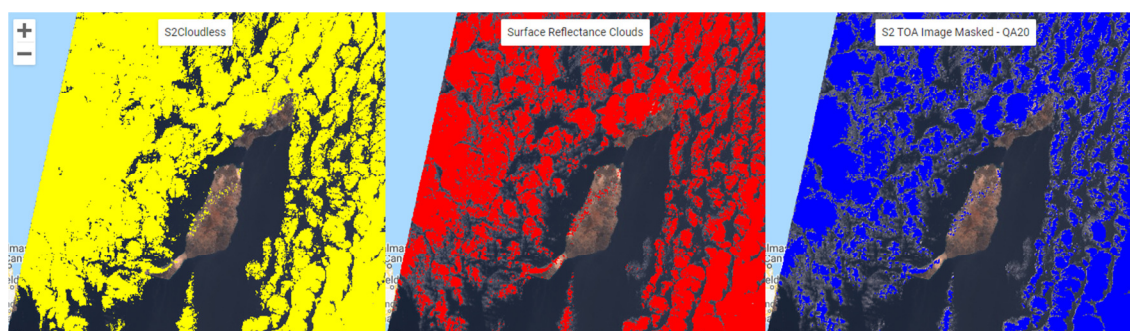


Figura 11. Comparativa entre técnicas con Google Earth Engine

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.

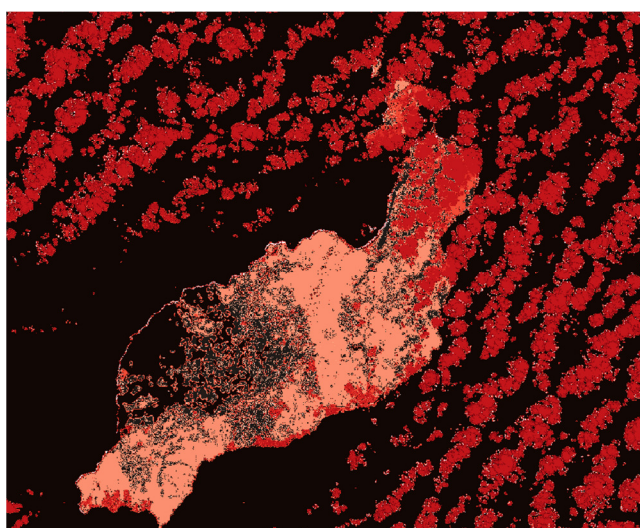


Figura 12. En negro las clases agua (6), dark area (2) y sombras (3). Sobre Timanfaya Sen2Cor clasifica constantemente como agua el núcleo central, así como Dark Area y sombras en los alrededores prácticamente para la totalidad de imágenes disponibles

2.6.1.4 APLICACIÓN DE LA MÁSCARA AL NDVI: CONSTRUCCION DEL NDVI LIBRE DE NUBES Y SOMBRAS

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 procesamiento 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.

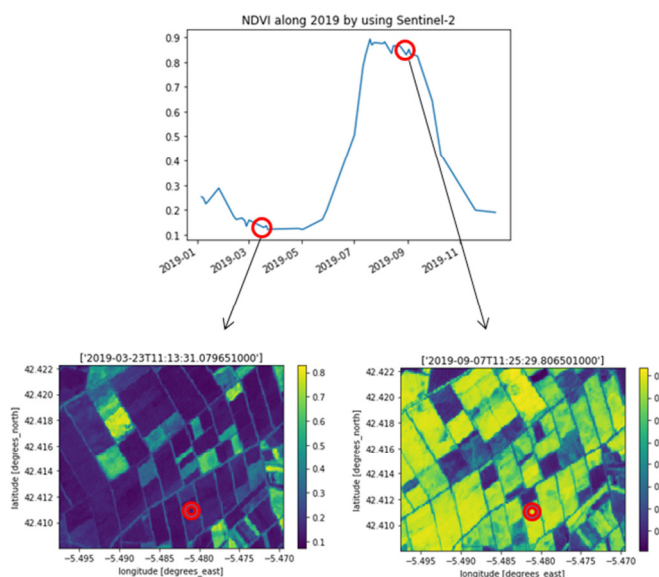


Figura 13. Consultas al Datacube (I): cálculo de series temporales de NDVI. Consultas al Datacube (II): generación de cartografía de NDVI por fechas.

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 CLASIFICACION DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO MEDIANTE RECURSOS DE TELEDETECCIÓN 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.

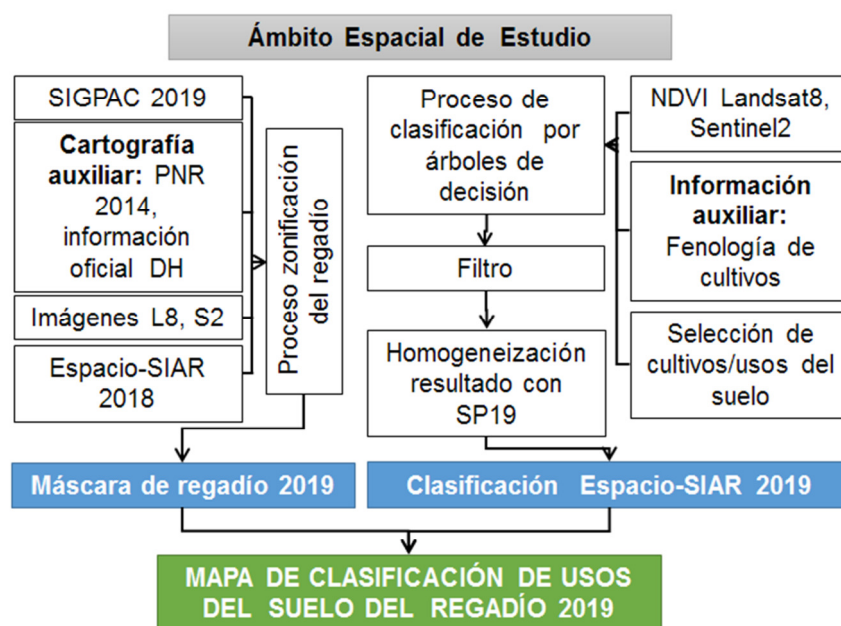


Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de clasificación.

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

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 (f_c) 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.

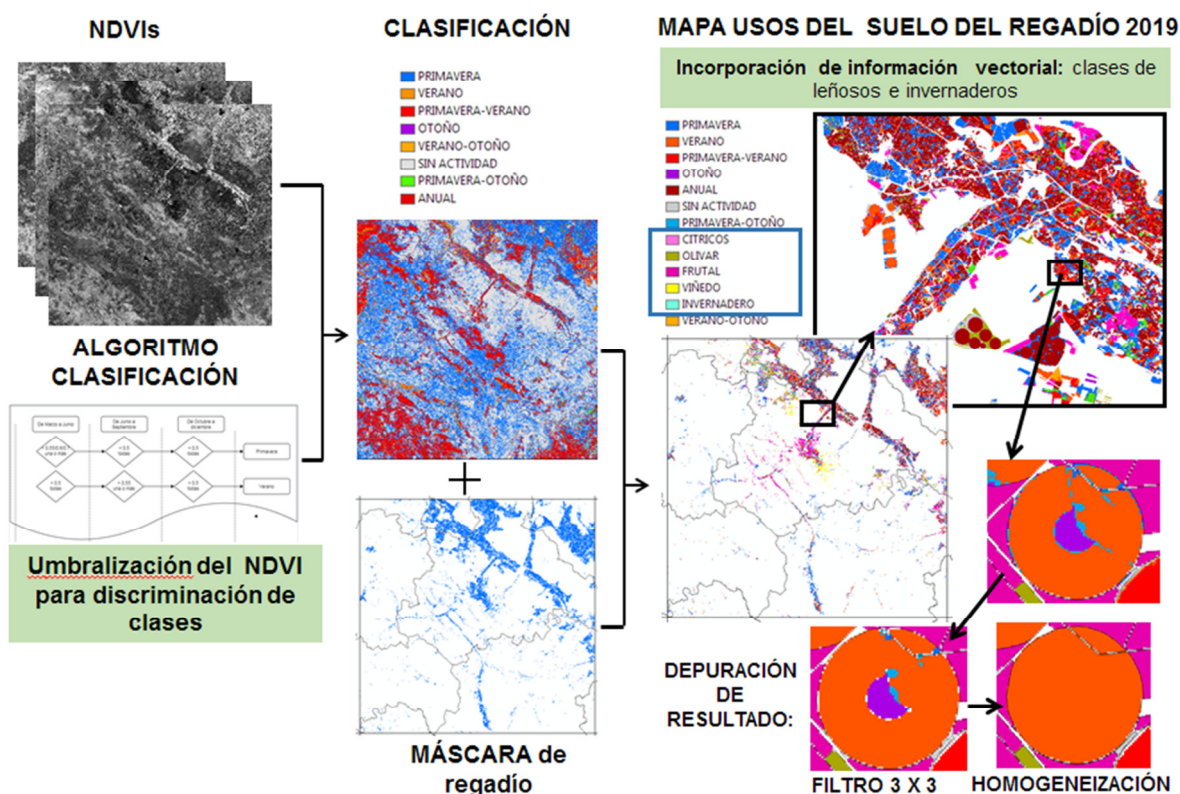


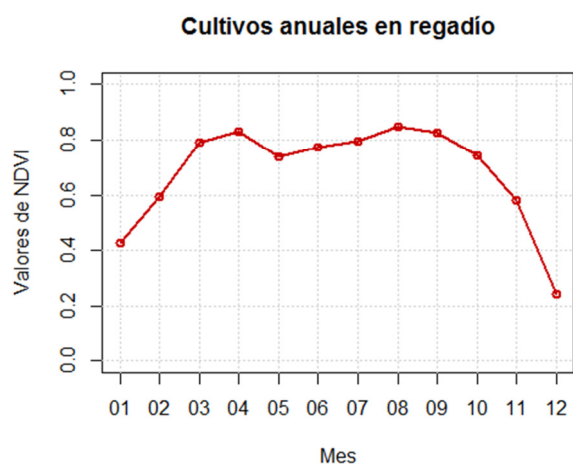
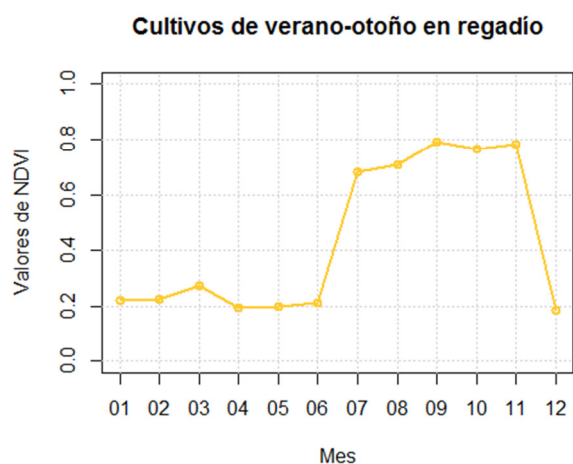
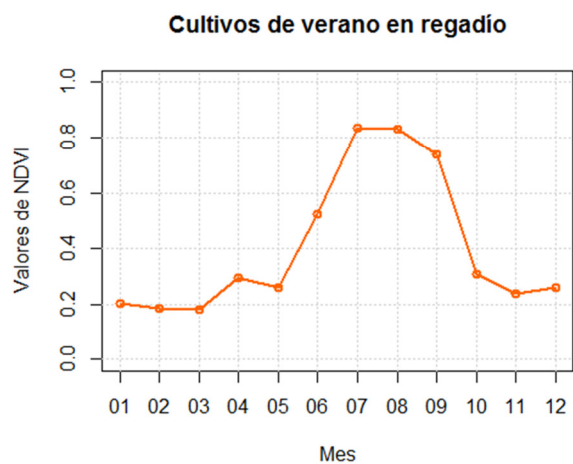
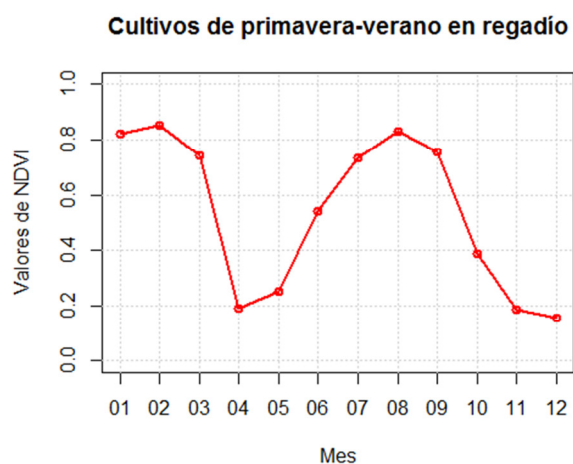
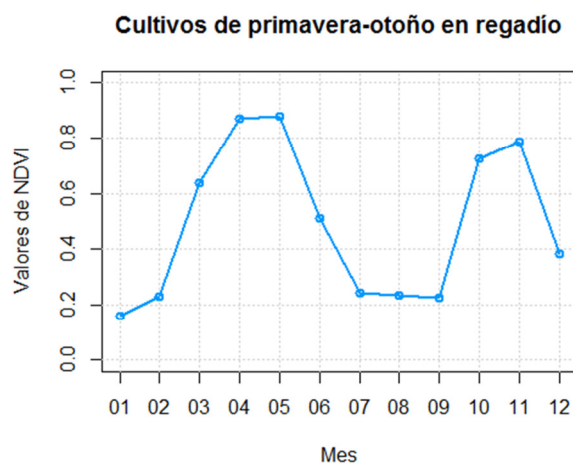
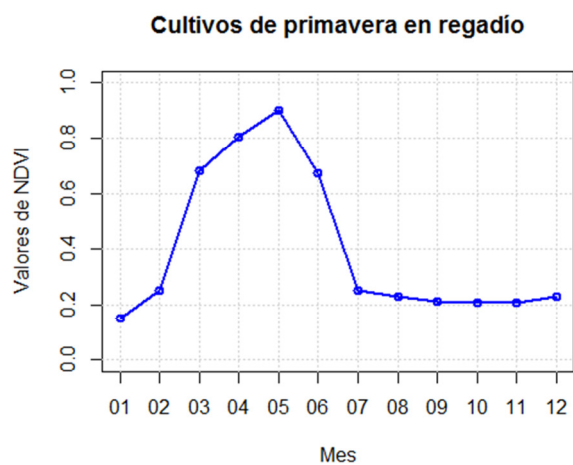
Figura 15. Esquema general del proceso de clasificación.

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).



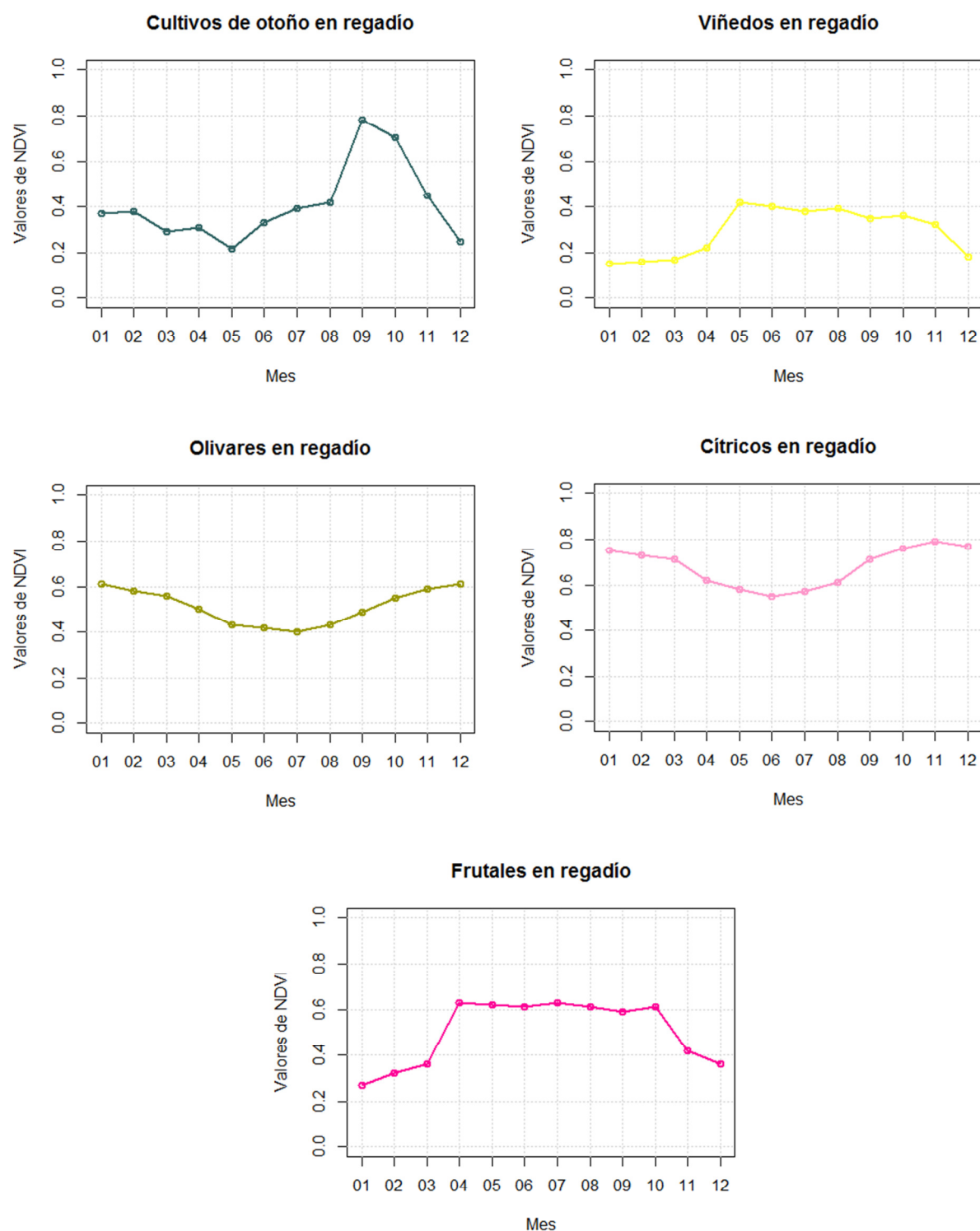


Figura 16. Curvas características de los diferentes usos de suelo en regadío clasificados.

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

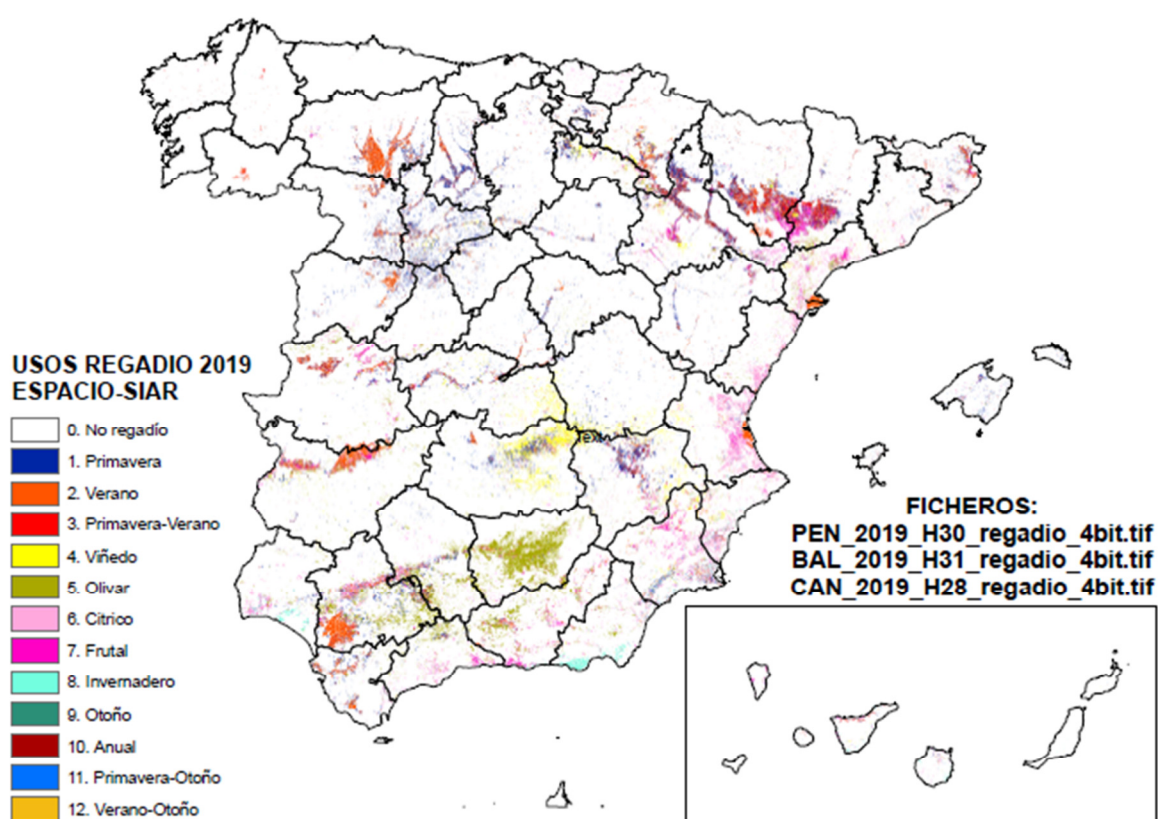


Tabla 14. Superficie regada (ha) por usos y demarcaciones hidrográficas en 2019.

Demarcación hidrográfica	Primavera	Verano	Prim-Ver	Otoño	Viñedo	Olivar	Cítricos	Frutales	Inv.	TOTAL 2019
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	7407	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	1377	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	5229	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	8758	33.498
TOTAL	841.027	692.680	401.875	33.220	305.855	741.899	296.339	403.022	69.733	3.785.648

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 (ET_c) 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 (ET_o) y el coeficiente de cultivo (K_c) (Allen et al., 1998b; Doorenbos and Pruitt, 1977), separando este último como la suma del coeficiente de cultivo basal (K_{cb}), relacionado con la transpiración de la planta, y el coeficiente de evaporación (K_e), relacionado con la evaporación del suelo (Wright, 1982; Allen et al., 1998). Además, el K_c incorpora el coeficiente de estrés hídrico (K_s) para simular bajo condiciones diferentes a las óptimas. En resumen, la ecuación empleada es:

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

4.1.2. Asimilación del coeficiente de cultivo basado en reflectividad.

La obtención del K_{cb} 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 K_{cb}, 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 K_{cb}, seremos capaces de representar las evoluciones temporales monitorizando así la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia (ET_c/ET_o). 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:

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

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 denomina riego deficitario controlado.

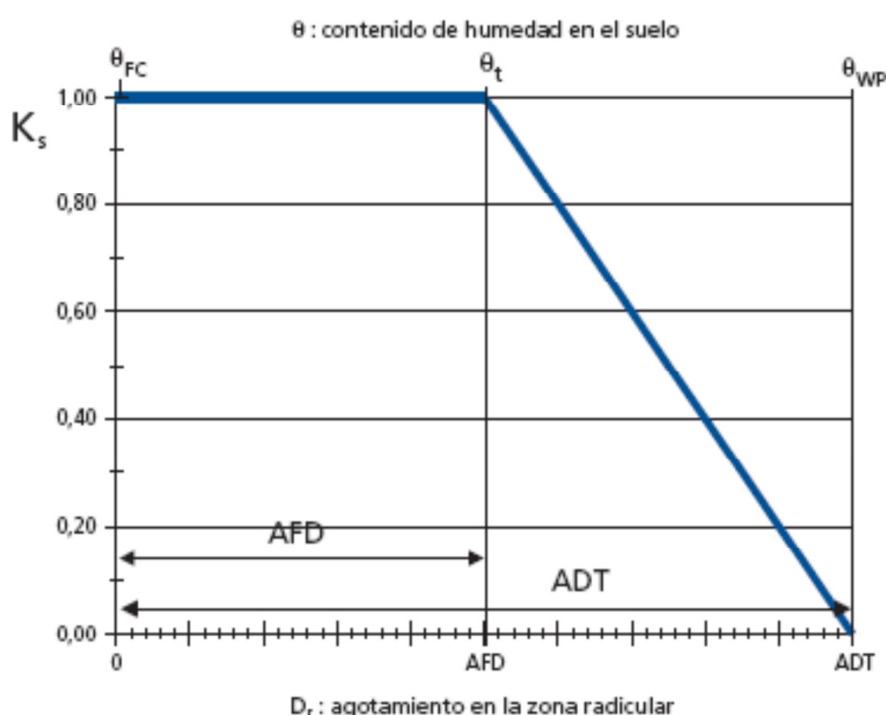


Figura 17. Coeficiente de estrés hídrico, K_s (Allen et al., 1998).

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.

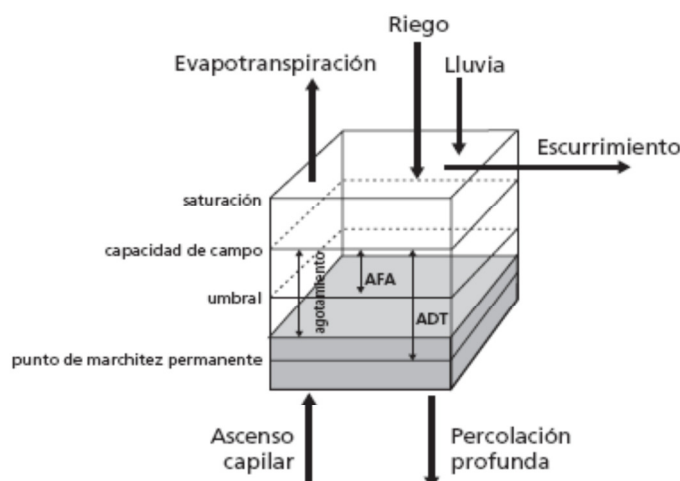


Figura 18. Balance de agua en la zona radicular (Allen et al., 1998)

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 escurrimiento 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 ($I_i \leq Dr_i$).

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 km².

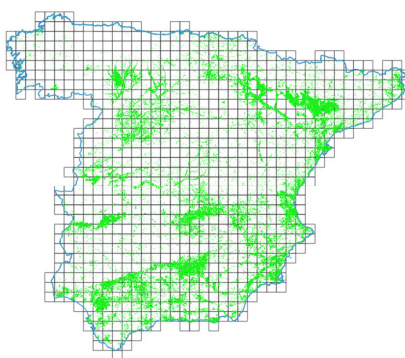


Figura 19. Tileado de los usos del suelo

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 ¹ (Rioja, 2019), Euskalmet (2019 – No todas las estaciones) y AEMET (2019- únicamente P)
Evapotranspiración de referencia diaria, ETo (mm/día)	
Capacidad de campo, Θ_{cc} (m ³ /m ³)	European Soil Database (ESDB) v2.0 (Panagos et al., 2012) y European Soil Derived Data (Hiederer, 2013)
Punto de marchitez, Θ_{cc} (m ³ /m ³)	
Profundidad del suelo, Zmax (m)	
Fracción de agotamiento permisible por tipo de uso en regadío, p (adimensional) ²	Manual FAO-56 (Allen et al., 1998a)
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 ³ , Ks (adimensional)	
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 ($\text{hm}^3/\text{año}$) originado por demarcaciones hidrográficas en 2019

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

Tabla 17. Volumen de riego neto mensual (hm³/mes) en demarcación hidrográfica, 2019

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

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
TOTAL GENERAL	880

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
www.espaciosiar.es	www.siar.es

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.

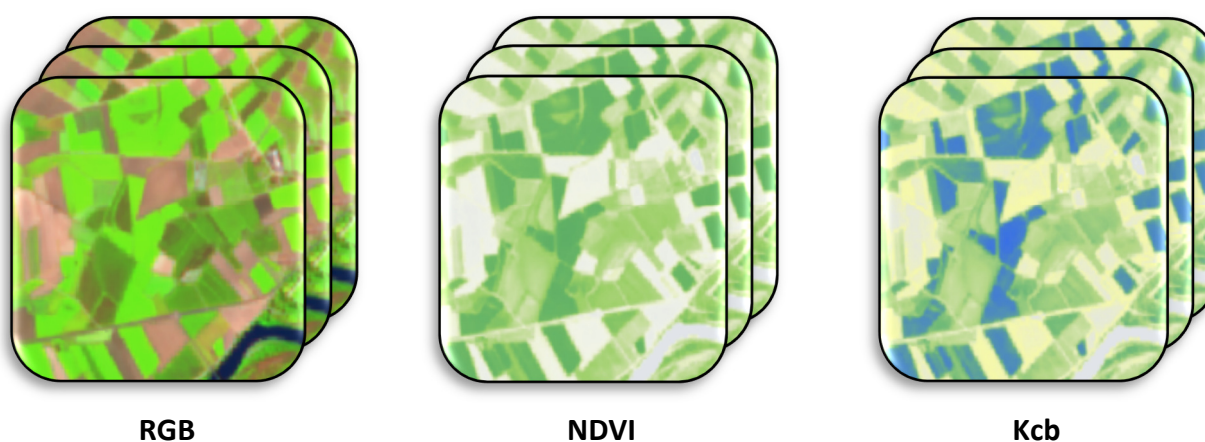


Figura 20. Conjunto de productos básicos tras el procesado de las imágenes Landsat 8 y resolución espacial generados en ESPACIO SiAR

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:

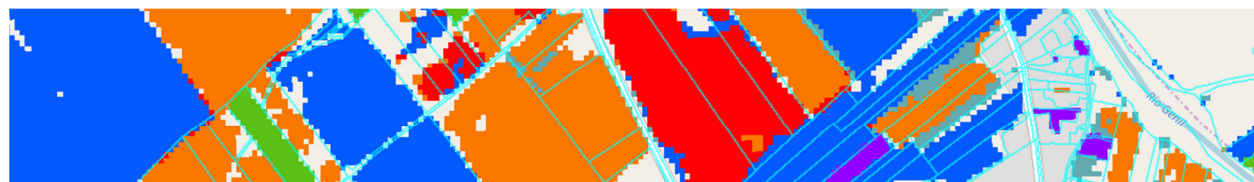
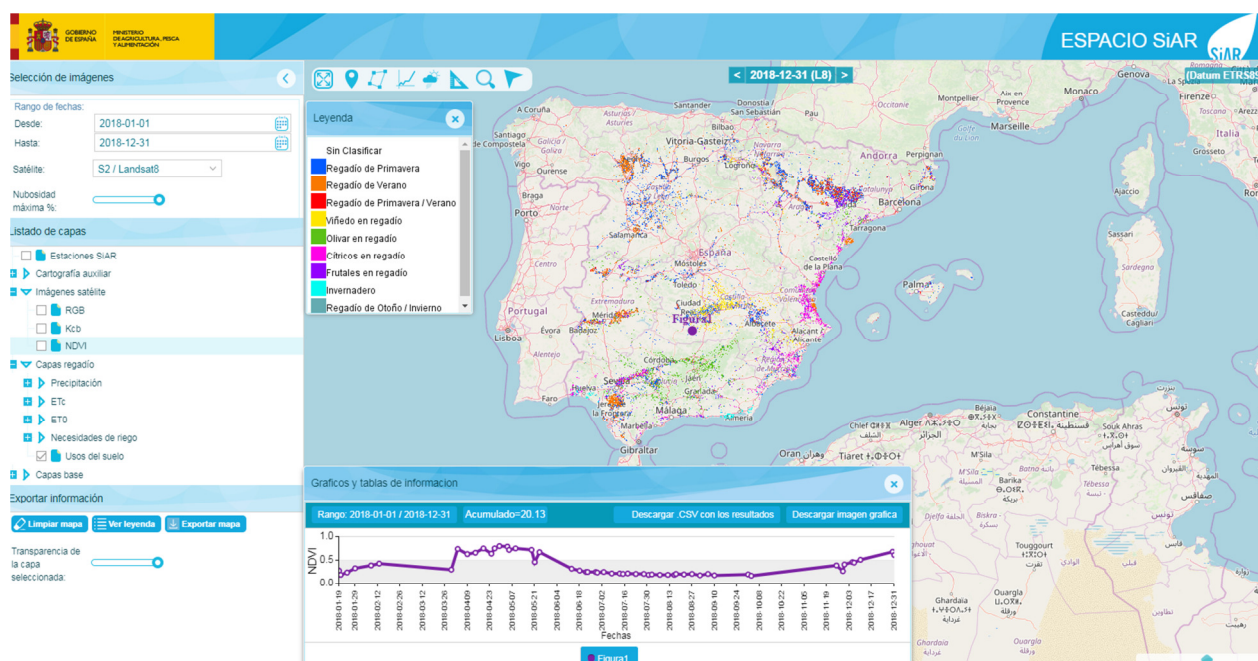
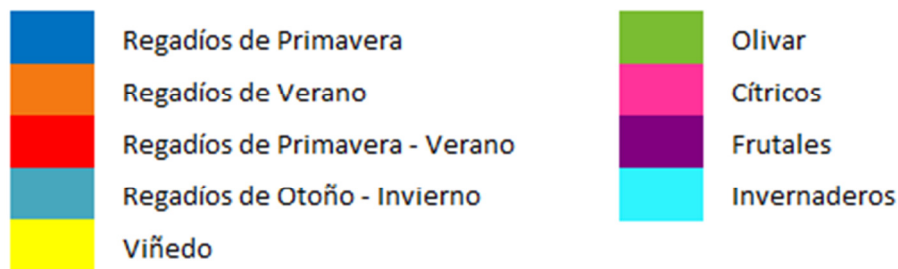


Figura 21. Imagen general y detalle de cómo se observan los distintos cultivos en regadíos según las clases de la leyenda en los mapas anuales de usos del suelo en regadío en ESPACIO SiAR

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.

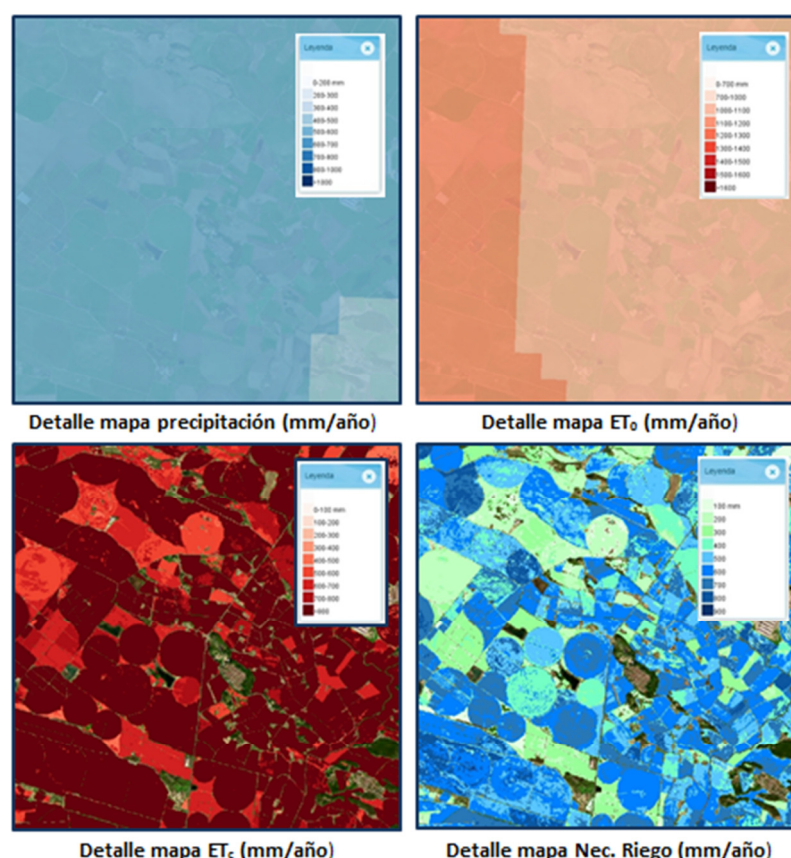


Figura 22. Imagen de cómo se observan los distintos cultivos en regadíos según las clases de la leyenda en los mapas anuales de usos del suelo en regadío

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
- **Nomenclator 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 Nomenclátors 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., Balbontin, 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., Balbontin, 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., Raunekar, 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., Rodríguez, J., Madurga, C., Fraile, L., Calera, A., González, L., Jiménez-Martínez, 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 Regadío (<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., Tregoat, 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., Tejero, 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 2016-2017y 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 (ET_o) 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
TORROX	AEMET	414524,79	4064947,49	Málaga
MÁLAGA AEROPUERTO	AEMET	367539,01	4058857,30	Málaga
MÁLAGA, CENTRO METEOROLÓGICO	AEMET	367677,25	4064588,34	Málaga
FUENGIROLA	AEMET	355136,06	4044909,21	Málaga
ANTEQUERA	AEMET	344493,49	4099567,83	Málaga
ESTEPONA	AEMET	306788,93	4032352,95	Málaga
ADRA	AEMET	498165,01	4066831,70	Almería
ALMERÍA AEROPUERTO	AEMET	557331,79	4078024,95	Almería
HUÉRCAL-OVERA	AEMET	593511,81	4138722,91	Almería
ROQUETAS DE MAR	AEMET	526652,99	4060186,47	Almería
ABLA	AEMET	519563,11	4110579,99	Almería
Málaga	SiAR	362740,95	4068969,70	Málaga
IFAPA Churriana	SiAR	365680,24	4059740,53	Málaga
Pizarra	SiAR	346918,44	4070360,53	Málaga
Vélez-Málaga	SiAR	399039,23	4072849,61	Málaga
Estepona	SiAR	301937,43	4035540,37	Málaga
Zafarraya	SiAR	397320,89	4094419,55	Granada
Padul	SiAR	446598,73	4097119,70	Granada
Tíjola	SiAR	547839,04	4137000,01	Almería
Cádiar	SiAR	483612,82	4086359,68	Granada
Almuñecar	SiAR	439383,80	4067569,78	Granada
Tabernas	SiAR	561997,60	4105230,50	Almería
Fiñana	SiAR	514310,79	4112270,22	Almería
La Mojonera	SiAR	526376,22	4071320,26	Almería
Almería	SiAR	553282,31	4076779,59	Almería
Adra	SiAR	500682,92	4066780,26	Almería
Níjar	SiAR	574959,95	4089720,04	Almería
Huércal-Overa	SiAR	598735,28	4141210,27	Almería
Cuevas de Almanzora	SiAR	606367,18	4124030,30	Almería
ARCHIDONA	SiAR	373857,69	4107194,79	Málaga
IFAPA Centro de Campanillas	SiAR	360629,25	4065959,98	Málaga
Cártama	SiAR	350118,87	4064780,48	Málaga
Antequera	SiAR	361020,89	4099810,14	Málaga
Jimena de la Frontera	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
VILLARDECIERVOS	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
Gomezterracedo	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
Zotes del Páramo	SiAR	274229,87	4682010,16	León
Quintana del Marco	SiAR	265660,69	4677909,67	León
Mansilla mayor	SiAR	300122,63	4708889,57	León
Cubillas de los Oteros	SiAR	293278,09	4696999,09	León
Fuentecantos	SiAR	547013,02	4631259,70	Soria
Hinojosa del Campo	SiAR	575261,40	4620819,91	Soria
Almazán	SiAR	541684,97	4590000,31	Soria
San Esteban de Gormaz	SiAR	481714,23	4601560,35	Soria
Nava de Arévalo	SiAR	350144,62	4538230,25	Ávila
Muñogalindo	SiAR	336237,14	4493639,61	Ávila
Villaralbo	SiAR	279159,76	4595660,45	Zamora
Villalpando	SiAR	301623,41	4638980,03	Zamora
Colinas de Trasmonte	SiAR	267218,95	4653680,54	Zamora
Toro	SiAR	302536,78	4597879,72	Zamora
Pozuelo de Tábara	SiAR	259386,01	4629610,54	Zamora
Barcial del Barco	SiAR	278887,33	4645819,84	Zamora
Medina de Rioseco	SiAR	328133,70	4636389,70	Valladolid
Finca Zamadueñas	SiAR	358738,97	4619050,45	Valladolid
Tordesillas	SiAR	333146,40	4594720,39	Valladolid
Valbuena de Duero	SiAR	394425,28	4610959,63	Valladolid
Villalón de Campos	SiAR	336577,97	4665759,94	Valladolid
Medina del Campo	SiAR	341205,02	4575269,83	Valladolid
Rueda	SiAR	334262,03	4585520,19	Valladolid
Villaeles de Valdavia	SiAR	369884,89	4713479,49	Palencia
Villaluenga de la Vega	SiAR	354224,96	4709939,78	Palencia
Lantadilla	SiAR	394739,11	4688969,73	Palencia
Olmedo	SiAR	358841,26	4574600,18	Valladolid
Encinas de Esgueva	SiAR	408359,01	4624499,92	Valladolid
Mayorga	SiAR	310946,24	4669050,29	Valladolid
Torrecilla de la Orden	SiAR	314411,05	4566399,66	Valladolid
Torquemada	SiAR	392329,94	4656289,84	Palencia
Villoldo	SiAR	368708,71	4681139,52	Palencia
Herrera de Pisuerga	SiAR	397065,06	4704900,54	Palencia
Villamuriel de Cerrato	SiAR	376702,03	4644879,54	Palencia
Fuentes de Nava	SiAR	357804,64	4660219,50	Palencia
Ciudad Rodrigo	SiAR	200526,14	4499280,52	Salamanca
Ejeme	SiAR	286462,87	4517879,85	Salamanca
Aldearrubia	SiAR	291143,86	4540569,61	Salamanca
Arabayona	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
TALARN	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
ALCAÑIZ	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
Salória (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'Àv	RURALCAT	812093,06	4643198,42	Lleida
Pinós	RURALCAT	877060,99	4638073,06	Lleida
Oliola	RURALCAT	844728,00	4644462,99	Lleida
Organyà	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
Horta de Sant Joan	RURALCAT	778235,76	4538619,10	Tarragona
els Alfacs	RURALCAT	809504,70	4503819,73	Tarragona
Falset	RURALCAT	820512,90	4562859,93	Tarragona
Margalef	RURALCAT	814367,43	4577219,99	Tarragona
Pantà de Riba-roja	RURALCAT	787646,82	4571544,93	Tarragona
Illa de Buda	RURALCAT	823945,90	4513328,67	Tarragona
I'Aldea	RURALCAT	805227,94	4519461,31	Tarragona
Aldover	RURALCAT	795448,64	4529061,22	Tarragona
Amposta	RURALCAT	806841,40	4512664,16	Tarragona
Benissanet	RURALCAT	805460,15	4552108,34	Tarragona
el Masroig	RURALCAT	812461,47	4559013,02	Tarragona
Ascó	RURALCAT	794478,71	4566512,97	Tarragona
Batea	RURALCAT	778774,07	4553692,15	Tarragona
Torres de Segre	RURALCAT	796491,09	4602482,82	Lleida
Tremp	RURALCAT	821209,74	4675142,46	Lleida
Tornabous	RURALCAT	836639,55	4623084,77	Lleida
Tornabous-Montargull	RURALCAT	836649,05	4623468,09	Lleida
Vilanova de Meià	RURALCAT	833450,92	4657115,64	Lleida
Vilanova de Segrià	RURALCAT	801857,48	4624442,83	Lleida
Vallfogona de Balaguer	RURALCAT	818233,76	4632984,01	Lleida
Vielha	RURALCAT	810766,16	4734324,05	Lleida
Cadí Nord (2143)-Prat d'Aguiló	RURALCAT	888731,01	4693045,59	Lleida
Camarasa	RURALCAT	821916,67	4647940,73	Lleida
Boi (2535m)	RURALCAT	819331,99	4708834,63	Lleida
Bonaigua (2266m)	RURALCAT	826674,87	4729309,70	Lleida
Certascan (2400m)	RURALCAT	849918,48	4736388,67	Lleida
Cervera	RURALCAT	857632,82	4622677,86	Lleida
Castelldans	RURALCAT	813125,37	4604300,45	Lleida
Castellnou de Seana	RURALCAT	829056,52	4619197,67	Lleida
Alcarràs	RURALCAT	796041,44	4607579,97	Lleida
Alcarràs-Torrent d'Alcarràs	RURALCAT	796099,22	4607759,21	Lleida
Aitona	RURALCAT	788909,43	4598596,73	Lleida
Albesa	RURALCAT	805120,53	4629683,29	Lleida
Alguair	RURALCAT	794024,18	4627265,68	Lleida
Baldomar	RURALCAT	834111,57	4648940,34	Lleida
Alfarràs	RURALCAT	797151,67	4635926,14	Lleida
Algerri	RURALCAT	803083,54	4634123,33	Lleida
Das-Aeródrom	RURALCAT	900622,87	4704124,01	Girona
Malniu (2230m)	RURALCAT	892883,89	4712598,11	Girona
Tauste	SiAR	653807,89	4651470,04	Zaragoza
Boquiñeni	SiAR	645315,14	4633850,29	Zaragoza
Daroca	SiAR	632269,96	4551949,64	Zaragoza

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

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
Villarquemado	SiAR	644881,35	4487499,55	Teruel
Valfarta	SiAR	737941,66	4601689,68	Huesca
Zaidín	SiAR	773946,88	4614720,10	Huesca
Puig Moreno	SiAR	731893,88	4553189,63	Teruel
Híjar	SiAR	707113,65	4565609,93	Teruel
Calanda	SiAR	734842,32	4538190,56	Teruel
11 Olite	SiAR	610024,91	4697696,14	Navarra
14 Traibuenas	SiAR	614023,18	4690839,54	Navarra
19 Bardenas Reales (Barranco)	SiAR	610873,25	4680000,04	Navarra
15 Sartaguda	SiAR	578128,36	4690400,28	Navarra
04 Ancin	SiAR	567869,67	4722909,91	Navarra
21 Corella	SiAR	595908,30	4663260,30	Navarra
01 Arazuri	SiAR	604372,89	4740489,54	Navarra
03 Lumbier	SiAR	641305,40	4725090,35	Navarra
10 Bargota	SiAR	557601,00	4703050,37	Navarra
17 Bardenas Reales (El Plano)	SiAR	622106,39	4683609,54	Navarra
08 Miranda de Arga	SiAR	597865,13	4707229,80	Navarra
12 Falces	SiAR	599354,55	4695469,38	Navarra
San Adrian	SiAR	590570,14	4690180,35	Navarra
Tudela	SiAR	617646,90	4661120,03	Navarra
26 Los Arcos	SiAR	566963,05	4709980,22	Navarra
27 Sesma	SiAR	571792,08	4702710,06	Navarra
25 Ablitas	SiAR	612249,25	4650270,43	Navarra
06 Aibar	SiAR	638208,87	4713140,25	Navarra
23 Fitero	SiAR	595781,30	4655540,38	Navarra
24 Cascante	SiAR	605622,63	4654379,90	Navarra
02 Adiós	SiAR	602626,26	4726759,49	Navarra
05 Artajona	SiAR	599222,70	4715280,06	Navarra
07 San Martín de Unx	SiAR	614035,62	4707660,18	Navarra
13 Murillo el Fruto	SiAR	624530,66	4693629,94	Navarra
Santa Cilia de Jaca	SiAR	688103,31	4716400,53	Huesca
Monte Julia	SiAR	768745,06	4626240,49	Huesca
Sodeto	SiAR	727564,86	4640530,36	Huesca
Agoncillo	SIAR La Rioja	558332,31	4702003,72	Navarra
Calahorra	SIAR La Rioja	582231,68	4687435,53	La Rioja
Ausejo	SIAR La Rioja	569744,71	4687979,74	La Rioja
Igea	SIAR La Rioja	583260,29	4656677,96	La Rioja
Foncea	SIAR La Rioja	496974,99	4717414,82	La Rioja
Santa Engracia del Jubera	SIAR La Rioja	560687,81	4691006,93	La Rioja
Quel	SIAR La Rioja	579422,83	4678259,25	La Rioja
Albelda de Iregua	SIAR La Rioja	543477,66	4692184,72	La Rioja
Arenzana de abajo	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-Tomeji	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 Río	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
Huéjara	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
PUEBLA DE DON RODRIGO	AEMET	360204,96	4327853,43	Ciudad Real
AYAMONTE	AEMET	109845,90	4125530,07	Huelva
VALDEPEÑAS	AEMET	465990,22	4289168,77	Ciudad Real
VISO DEL MARQUÉS	AEMET	450600,03	4263449,04	Ciudad Real
TOMELLOSO	AEMET	499352,11	4335549,49	Ciudad Real
CIUDAD REAL	AEMET	420298,66	4315977,13	Ciudad Real
SAN CLEMENTE	AEMET	549855,56	4363207,01	Cuenca
HINOJOSA DEL DUQUE	AEMET	315005,53	4263240,90	Córdoba
QUINTANAR DE LA ORDEN	AEMET	495969,41	4383086,26	Toledo
MADRIDEJOS	AEMET	454569,05	4371503,71	Toledo
LLERENA	AEMET	235926,94	4235824,14	Badajoz
MÉRIDA	AEMET	206455,45	4312888,08	Badajoz
HERRERA DEL DUQUE	AEMET	321847,40	4337605,79	Badajoz
DON BENITO	AEMET	250389,43	4315791,36	Badajoz
BADAJOS AEROPUERTO	AEMET	169154,78	4310748,00	Badajoz
JEREZ DE LOS CABALLEROS	AEMET	170732,52	4245657,60	Badajoz
Manzanares	SiAR	469428,09	4330470,17	Ciudad Real
Montiel	SiAR	510308,21	4283169,88	Ciudad Real
PORZUNA	SiAR	393782,39	4343510,32	Ciudad Real
CIUDAD REAL	SiAR	414361,59	4321939,86	Ciudad Real
ALCÁZAR DE SAN JUAN	SiAR	482728,68	4340119,97	Ciudad Real
Herencia	SiAR	471539,87	4358890,28	Ciudad Real
Daimiel	SiAR	440016,05	4317940,34	Ciudad Real
Bolaños	SiAR	446145,38	4311319,56	Ciudad Real
Argamasilla de Alba	SiAR	495017,67	4325229,77	Ciudad Real
Aroche	SiAR	153376,15	4208510,33	Huelva
La Puebla de Guzmán	SiAR	124658,62	4164620,42	Huelva
La Puebla de Almoradiel	SiAR	488335,42	4384360,34	Toledo
EL SANCHÓN	SiAR	560667,04	4357420,00	Cuenca
PEDERNOSO	SiAR	520738,37	4369320,19	Cuenca
Madrigalejo	SiAR	275670,94	4335060,29	Cáceres
GUADALUPE	SiAR	297765,95	4362369,89	Cáceres
IFAPA Centro de Hinojosa del D	SiAR	315518,21	4262999,99	Córdoba
Aliseda	SiAR	186519,74	4353589,77	Cáceres
JUANACO	SiAR	529581,64	4346370,46	Albacete
Santa Amalia	SiAR	241513,84	4322470,48	Badajoz
BERCIAL	SiAR	167914,83	4310100,06	Badajoz
Fuente de Cantos	SiAR	210378,16	4234129,71	Badajoz

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

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

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

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

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

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

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

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

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
PINOSO	AEMET	671322,03	4251988,91	Alicante
HELLÍN	AEMET	613027,36	4266744,82	Albacete
CIEZA	AEMET	641736,75	4232882,51	Murcia
MURCIA	AEMET	660598,37	4207609,41	Murcia
SAN JAVIER AEROPUERTO	AEMET	693232,28	4183488,36	Murcia
CARAVACA DE LA CRUZ	AEMET	598441,04	4217782,93	Murcia
LORCA	AEMET	615799,27	4168317,37	Murcia
YECLA	AEMET	660248,66	4274180,54	Murcia
ÁGUILAS	AEMET	625041,18	4142094,82	Murcia
CARTAGENA	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 (C ^a del Judio)	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
Puerto Lumbreras	SiAR	615444,87	4151559,67	Murcia
Charco de Taray	SiAR	661844,76	4225289,87	Murcia
Finca Taray (Torres de cotilla	SiAR	649022,75	4207950,07	Murcia
Finca experimental de Aguilas	SiAR	624578,10	4142249,67	Murcia
Finca experimental de Totana (SiAR	631021,57	4177169,90	Murcia
Virgen de Fátima-Cuevas de Almanzora	SiAR	608847,14	4138750,52	Almería

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

Estación	Fuente	X	Y	Provincia
TOLEDO	AEMET	410624,65	4415485,45	Toledo
SAN PABLO DE LOS MONTES	AEMET	383956,66	4378345,35	Toledo
SOTILLO DE LA ADRADA	AEMET	364777,49	4461005,10	Ávila
TALAVERA DE LA REINA	AEMET	340821,74	4424826,36	Toledo
SIGÜENZA	AEMET	532080,17	4548417,39	Guadalajara
GUADALAJARA	AEMET	487314,54	4497726,52	Guadalajara
MOLINA DE ARAGÓN	AEMET	594513,32	4521785,55	Guadalajara
VALENCIA DE ALCÁNTARA	AEMET	134276,15	4371571,22	Cáceres
NAVALMORAL DE LA MATA	AEMET	279371,23	4424938,93	Cáceres
PLASENCIA	AEMET	236737,55	4437099,45	Cáceres
CORIA	AEMET	196314,65	4434222,89	Cáceres
TRUJILLO	AEMET	254520,39	4374211,82	Cáceres
CÁCERES	AEMET	212776,47	4374412,63	Cáceres
MADRID, RETIRO	AEMET	442470,47	4473701,34	Madrid
ROBLEDO DE CHAVELA	AEMET	393967,82	4475988,25	Madrid
COLMENAR VIEJO	AEMET	435367,45	4505304,76	Madrid
MADRID, CIUDAD UNIVERSITARIA	AEMET	438594,29	4478141,54	Madrid
CAÑIZARES	AEMET	571991,80	4486962,61	Cuenca
TARANCÓN	AEMET	498174,55	4429021,49	Cuenca
BITRAGO DEL LOZOYA	AEMET	448399,64	4539709,26	Madrid
MADRID AEROPUERTO	AEMET	452902,23	4479702,94	Madrid
LA COVATILLA, ESTACIÓN DE ESQU	AEMET	271562,19	4470633,68	Salamanca
ARANJUEZ	AEMET	453429,74	4435361,13	Madrid
La Rinconada	SiAR	379873,41	4410060,54	Toledo
MAGAN	SiAR	419483,70	4420980,16	Toledo
Recas	SiAR	416574,86	4434449,86	Toledo
Villarubia de Santiago	SiAR	471476,22	4431689,87	Toledo
Mora	SiAR	433719,01	4390829,68	Toledo
Marchamalo	SiAR	482269,79	4503340,54	Guadalajara
Los Navalmorales	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
Valdeñigos-Tejeda de Tietar	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
La Palma del Condado	SiAR	186353,71	4141470,26	Huelva
Gibraleón - Manzorales	SiAR	144097,00	4136702,13	Huelva
Niebla	SiAR	169097,79	4139929,46	Huelva
El Campillo	SiAR	182491,17	4174300,07	Huelva
IFAPA Centro Las Torres-Tomejil	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
PORQUERES	AEMET	976628,81	4677474,92	Girona
ROOLL	AEMET	929095,74	4684112,84	Girona
VANDELLÒS	AEMET	825831,31	4541322,56	Tarragona
REUS AEROPUERTO	AEMET	850696,57	4563801,48	Tarragona
SANTA SUSANNA	AEMET	974469,61	4626713,98	Barcelona
BARCELONA	AEMET	934811,91	4595179,10	Barcelona
ARENYS DE MAR	AEMET	961846,93	4618823,84	Barcelona
MANRESA	AEMET	902668,04	4630022,23	Barcelona
Banyoles	RURALCAT	978695,79	4678962,75	Girona
Cabanes	RURALCAT	990873,90	4701007,62	Girona
Anglés	RURALCAT	966717,75	4660801,48	Girona
Castelló d'Empúries	RURALCAT	1002510,67	4695220,39	Girona
Espolla	RURALCAT	994592,55	4709972,75	Girona
Cassá de la Selva	RURALCAT	991913,73	4652855,39	Girona
Castell d'Aro	RURALCAT	1001187,83	4646145,59	Girona
Vacarisses	RURALCAT	909695,30	4616216,16	Barcelona
Vallirana	RURALCAT	912754,13	4592928,93	Barcelona
Santuari de Queralt	RURALCAT	899110,44	4672982,56	Barcelona
Tagamanent-PN del Montseny	RURALCAT	940977,43	4635362,92	Barcelona
Vilassar de Mar	RURALCAT	949591,94	4609599,28	Barcelona
Viladecans	RURALCAT	921840,91	4584237,79	Barcelona
Vilanova del Vallés	RURALCAT	942137,72	4612776,56	Barcelona
Sabadell-Parc Agrari	RURALCAT	922754,94	4613982,10	Barcelona
Sant Llorenç Savall	RURALCAT	918413,61	4626612,66	Barcelona
Puig Sesolles (1668m)	RURALCAT	952010,15	4638954,18	Barcelona
Rellinars	RURALCAT	909621,08	4620707,09	Barcelona
Sant Sadurní d'Anoia	RURALCAT	900610,17	4598026,83	Barcelona
Sant Salvador de Guardiola	RURALCAT	896933,78	4624575,43	Barcelona
Sant Martí Sarroca	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 Rascler	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
Riudecanyes	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