



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

REGADIOS Y ETP EN CHG

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS DE REGADÍO Y ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

D. Víctor Juan Cifuentes Sánchez

Jefe de la Oficina de Planificación del Guadalquivir
Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Jornada sobre Eficiencia Hídrica y Energética. Proyectos I+D+i
H2020

CENTER 13/04/2016



1. **Antecedentes**
2. **Metodología**
3. **Regionalización fenológica**
4. **Preparación de imágenes**
5. **Actualización de las zonas regables**
6. **Clasificación de cultivos**
7. **Modelo de cálculo de ET**
8. **Casos del Arroz y Olivar**
9. **Resultados**
10. **Contraste**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

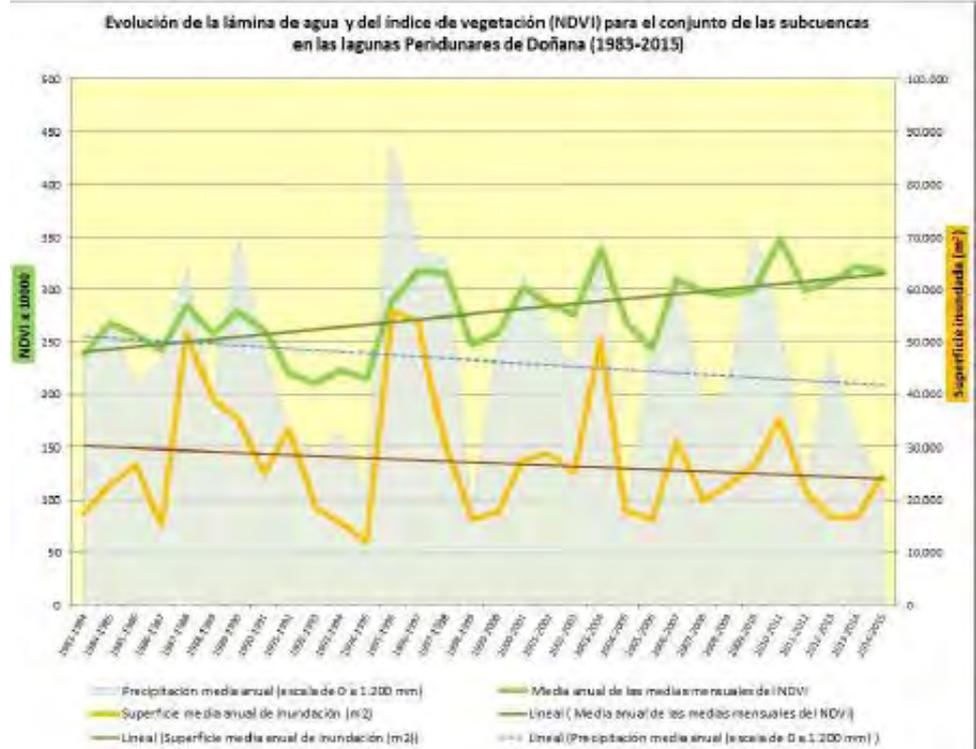
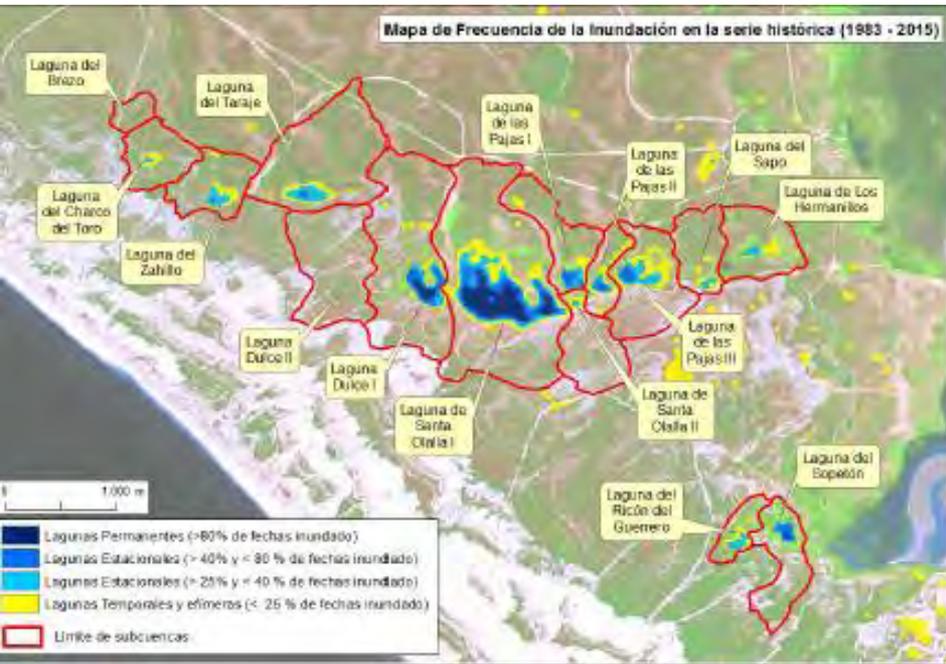
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Antecedentes

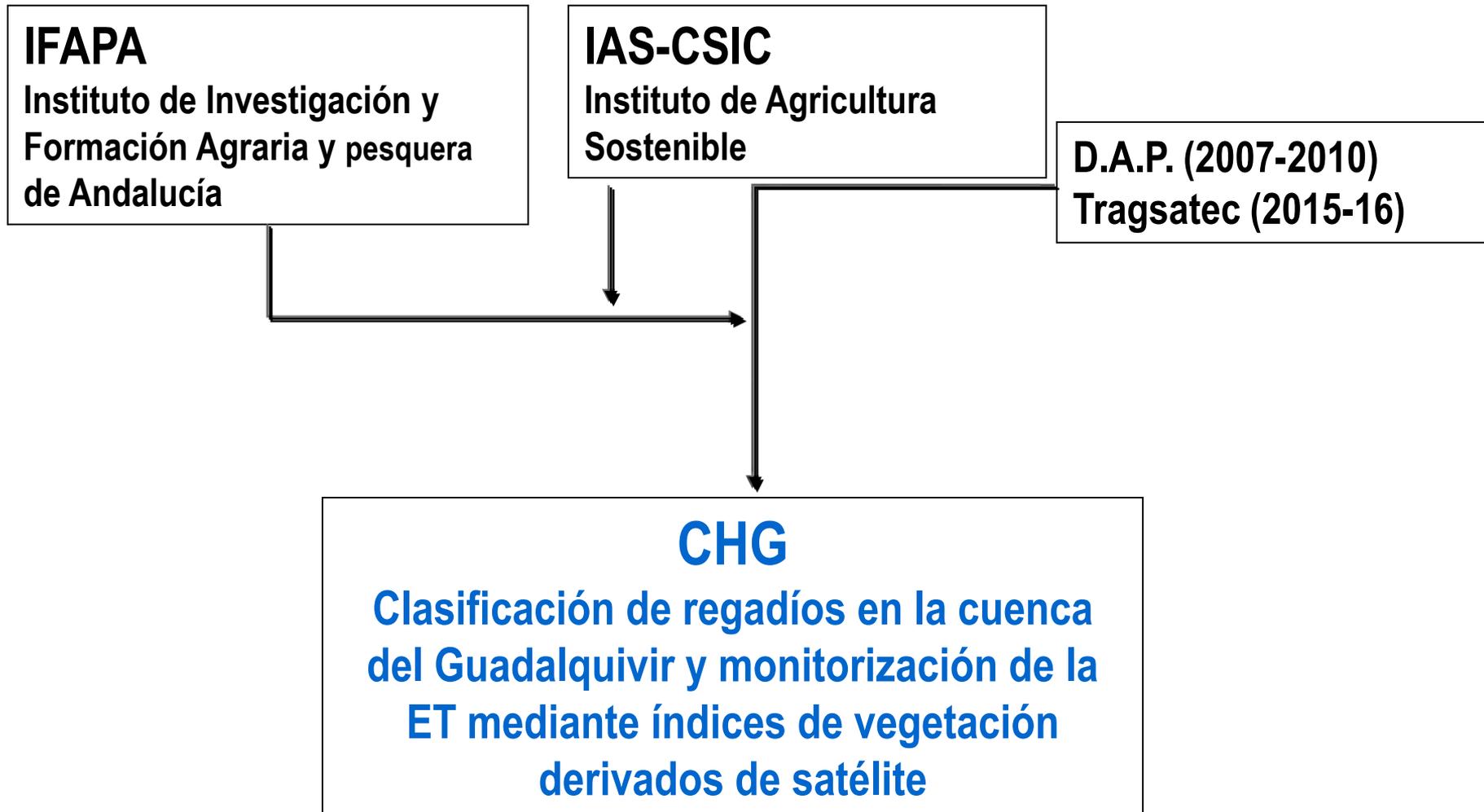


- **El regadío constituye el 86% del consumo de agua de la demarcación del Guadalquivir. En cumplimiento de sus competencias, las confederaciones hidrográficas deben realizar un seguimiento y control de los planes, programas y acciones que tengan repercusión sobre las demandas, a fin de promover el ahorro y la eficiencia económica y ambiental de los diferentes usos del agua.**
- **La teledetección es una herramienta de coste asequible que permite estimaciones globales y discernir características regionales y tendencias.**
- **La CHG emplea la teledetección para el seguimiento de los cultivos en regadío y cálculo de la ET desde el año 2007. Se dispone de un total de cuatro campañas (2007 a 2010). En la actualidad está trabajando en la campaña 2015.**
- **También se usa la teledetección para el seguimiento de procesos ecológicos relevantes para la protección del Dominio Público Hidráulico, como la superficie inundada de lagos y humedales.**

Seguimiento de procesos ecológicos en las lagunas del Parque Nacional de Doñana



Teledetección para la gestión sostenible del riego





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

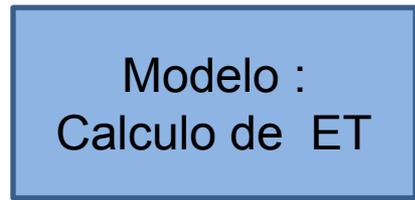
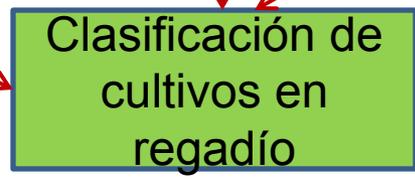
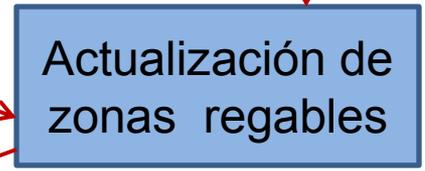
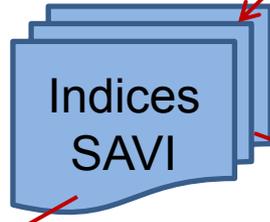
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Metodología

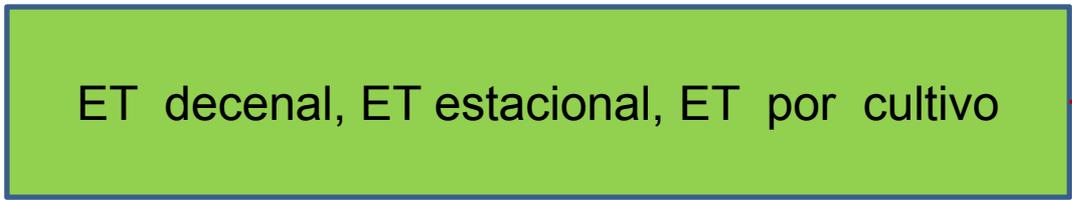


- **La idea de fondo del trabajo es:**
 1. **Actualizar el inventario de regadíos existente**
 2. **Calcular las necesidades de riego de la demarcación en base a la evapotranspiración real.**
- **Las bases conceptuales son sencillas:**
- **La clasificación de cultivos se realiza con una estrategia basada en un árbol de decisión que combina los siguientes datos:**
 - ✓ **para los cultivos herbáceos (SAVI + declaraciones PAC)**
 - ✓ **Para los leñosos (inventario de regadío + SIGPAC).**
- **La ET se calcula en base al Modelo FAO: $ET = K_c \times E_{To}$.**
 - ✓ **Resultado ET decenal y acumulada de los principales cultivo en regadío.**

ACOPIO DE DATOS Y HOMOGENEIZACIÓN



RESULTADOS



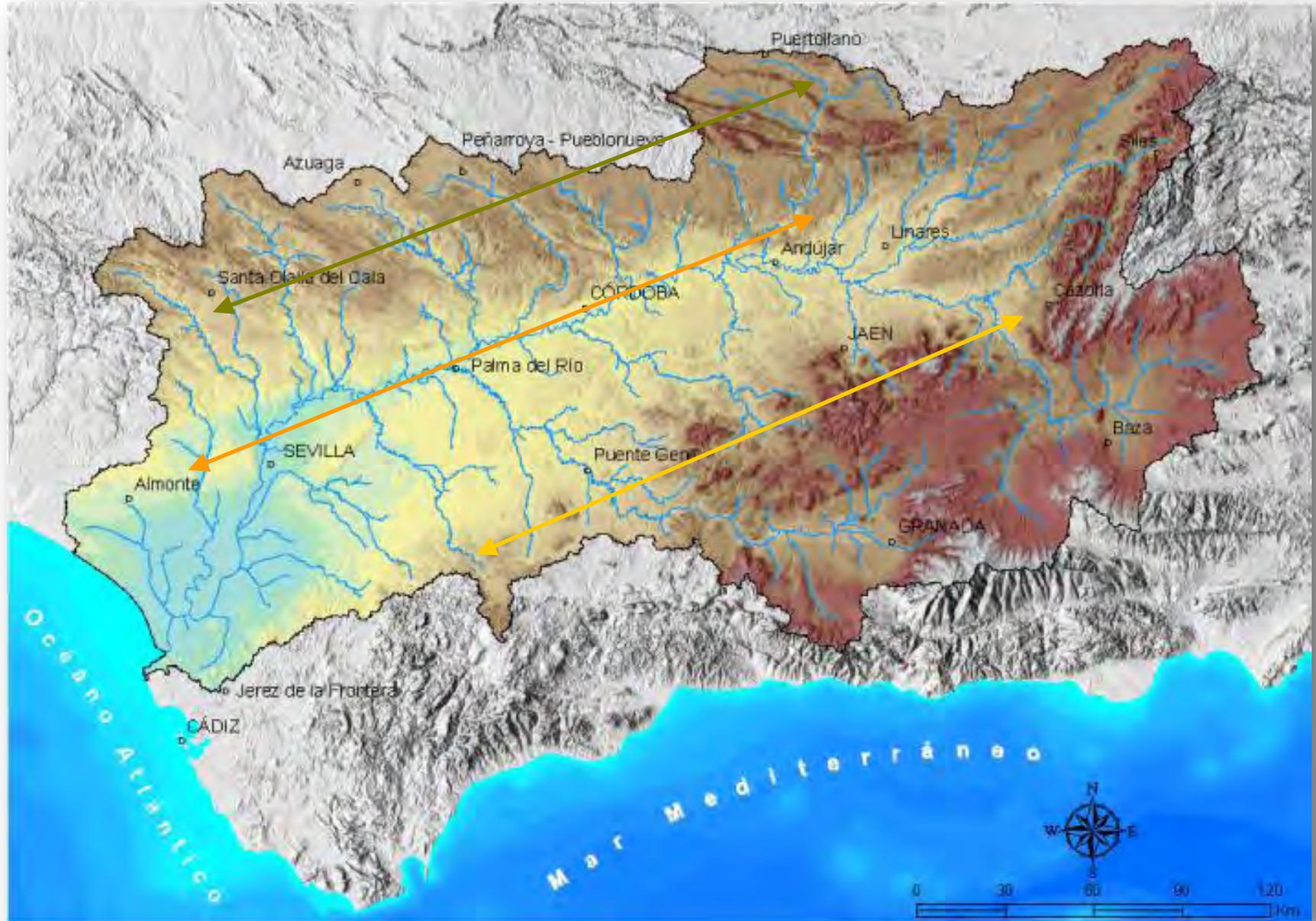


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Regionalización fenológica

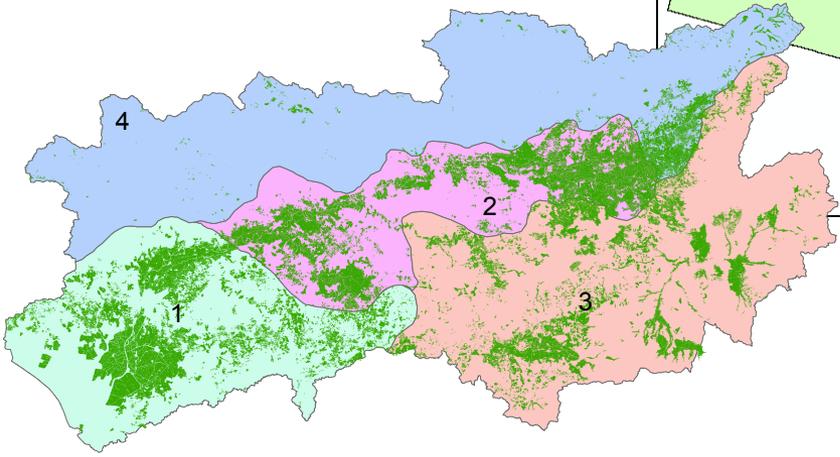
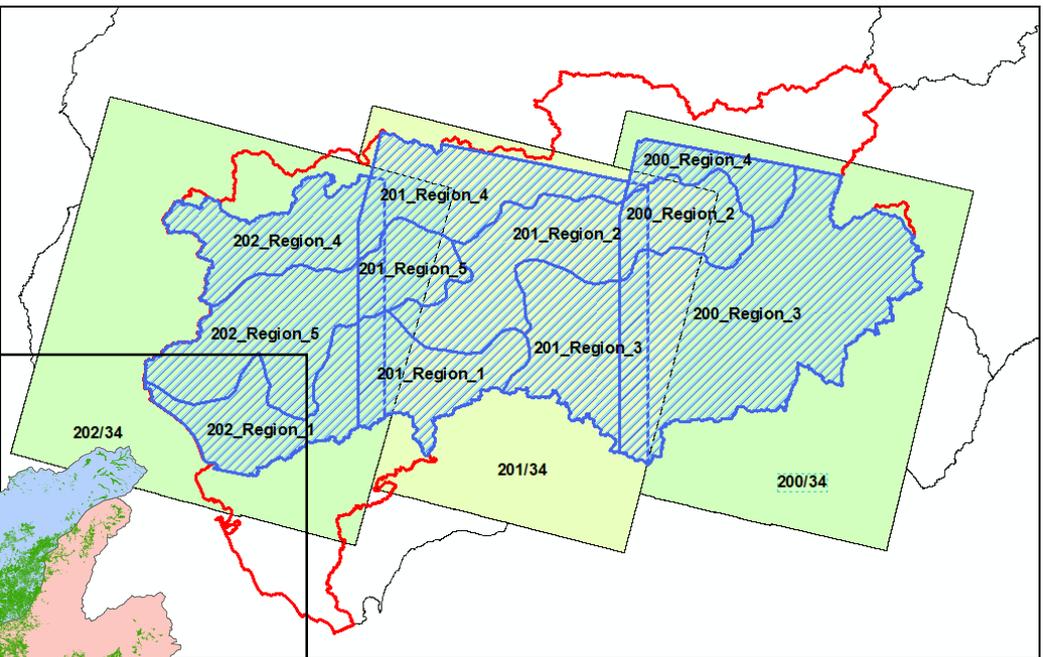
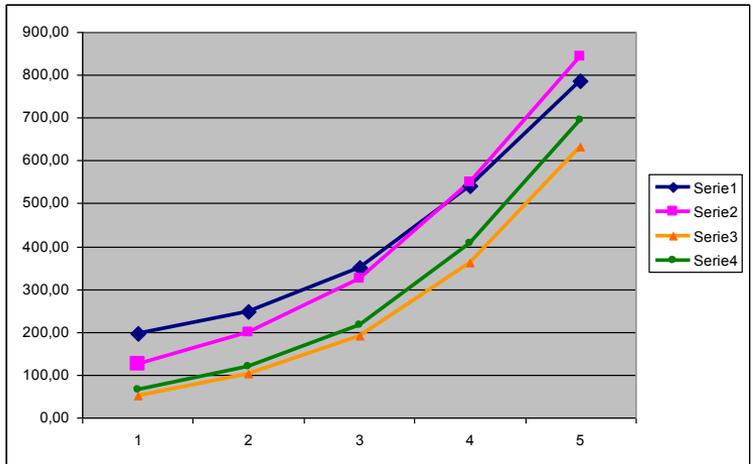




- **La cuenca del Guadalquivir tiene más de 57.000 km² y una notable diversidad morfológica y climática.**
- **El valle central tiene mas de 300 km de largo y 100 de ancho, con una altitud que va aumentando desde el nivel del mar a más de 400 metros.**
- **Los valles del Genil y del Guadiana Menor, aunque extensos están a gran altura y encajados entre grandes sierras como las Subéticas, Sierra Mágina, Sierra Nevada, las Sierras de Cazorla, la Sierra de Baza, etc.**
- **Sierra Morena no tiene grandes cumbres, pero si una altitud media apreciable y un alto grado de continentalidad que se incrementa hacia el Este. El carácter impermeable de los materiales que la forman condiciona la hidrología de toda la cuenca**



- La clasificación de regadíos se hace en base al comportamiento diferencial en el tiempo de los distintos cultivos. Dada la amplia variedad climática de la cuenca es necesario definir ámbitos para las clasificaciones, que serán zonas climáticamente homogéneas.
- La herramienta para ello es una regionalización fenológica, con el nº de grados día (°D) como indicador. Definimos los grados día como la suma de los grados hora (°H) dividido entre 24.
- Se eligen dos umbrales T_{inf} y T_{sup} . En nuestro caso han sido 10° C y 30° C
 - Si $T < T_{inf}$ °H = 0
 - Si $T_{inf} < T < T_{sup}$ °H = $T - T_{inf}$
 - Si $T > T_{sup}$ °H = $T_{sup} - T_{inf}$
 - Se calculan los grados día diarios y se van sumando.
 - El modo de acumulación (valor final y pendiente) servirá como separador.



4 zonas agroclimáticas sobre las huellas de las 3 escenas Landsat: el trabajo requiere un total de $3 + 4 + 3 = 10$ clasificaciones distintas

Zonas agroclimáticas en las que se divide la cuenca con el área de las superficies regables superpuesta (en verde)



GOBIERNO
DE ESPAÑA

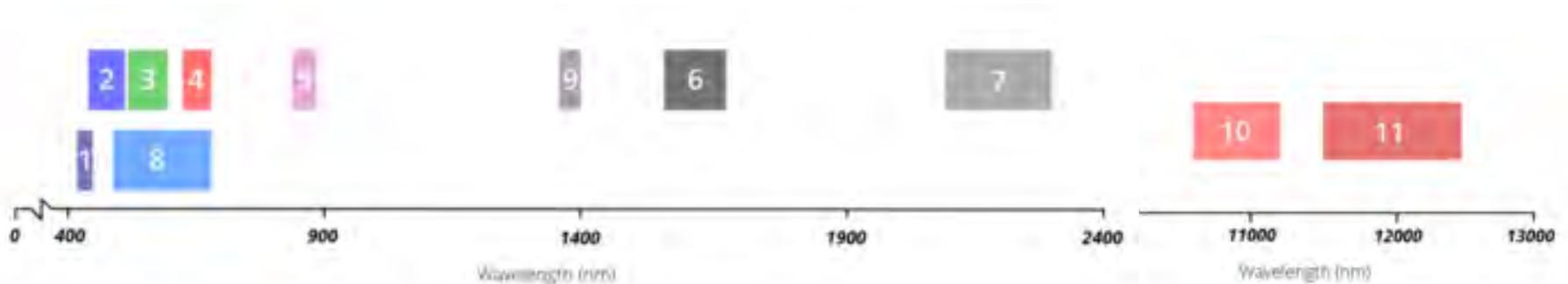
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Preparación de imágenes

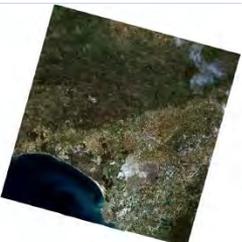
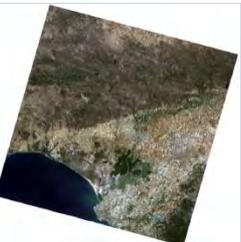
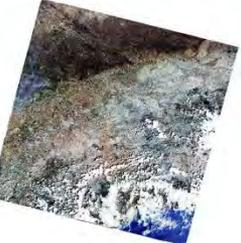
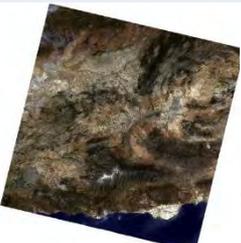
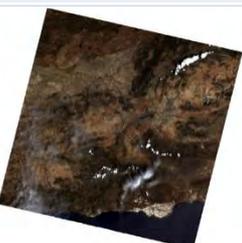
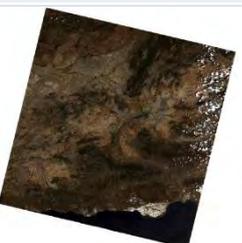
En trabajos anteriores se usó Landsat 5, reforzado con Landsat 7 y cuando era estrictamente necesario, con IRS-AWIFS. Los trabajos de 2015 se basan en Landsat 8

BAND NUMBER	MM	RESOLUTION
1 (coastal/aerosol band)	0.433-0.453	30 m
2 (Blue)	0.450-0.515	30 m
3 (Green)	0.525-0.600	30 m
4 (Red)	0.630-0.680	30 m
5 (NIR)	0.845-0.885	30 m
6 (SWIR 1)	1.560-1.660	60 m
7 (SWIR 2)	2.100-2.300	30 m
8 (Panchromatic)	0.500-0.680	15 m
9 (Cirrus)	1.360-1.390	30 m
10 (TIRS 1)	10.6-11.2	100 m
11 (TIRS 2)	11.5-12.5	100 m



Longitud de onda de las bandas que capta el sensor OLI

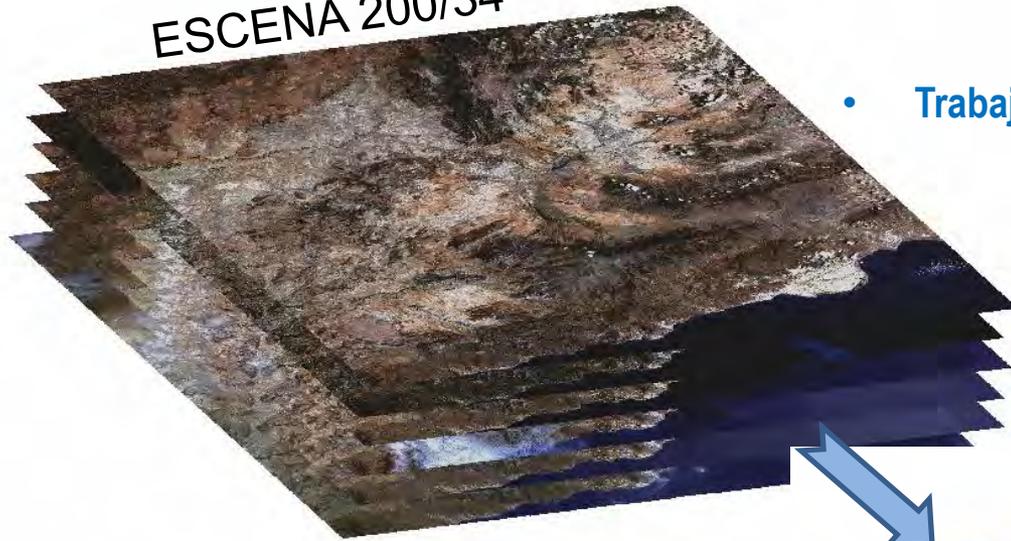
TIR (infrarojo térmico)

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.
202/34							
	08/03/15	11/05/15	27/05/15	28/06/15	30/07/15	15/08/15	02/10/15
201/34							
	13/02/15	02/04/15	20/05/15	05/06/15	07/07/15	23/07/15	25/09/15
200/34							
	10/03/15		13/05/15	30/06/15	16/07/15	01/08/15	02/09/15

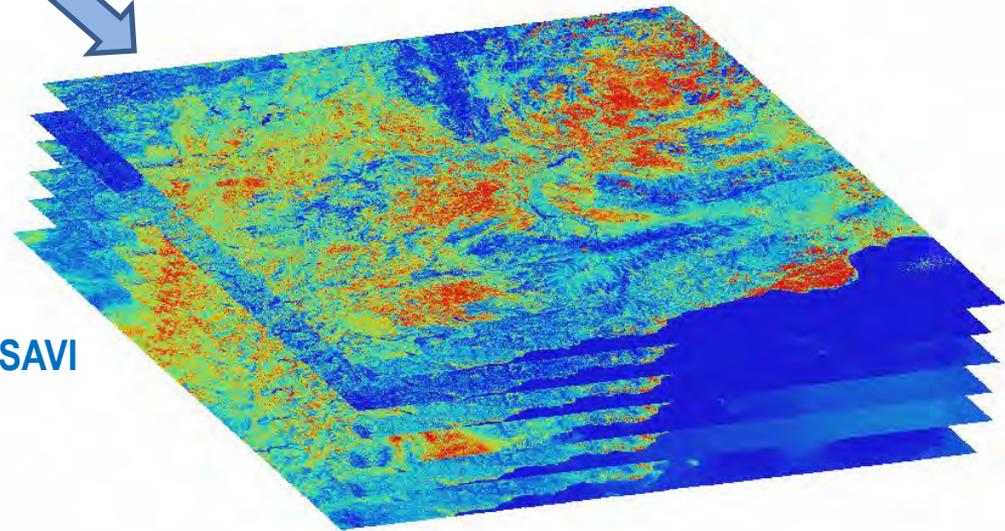
- Descarga desde [http://landsat.usgs.gov/Landsat Search and Download.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php)
 - ✓ Imágenes L8 OLI a Nivel 1 de procesamiento, bandas de calidad y metadatos
 - ✓ Reflectancia Top of Atmosphere (TOA)
 - ✓ Reflectancia de superficie (SR), y productos de temperatura de brillo
 - ✓ Índices espectrales basados en la reflectancia de superficie (NDVI y SAVI Boa)
- Generación de la imagen RGB de visualización en color natural y creación de una máscara de nubes/footprint.
- Preparación de compuestos SAVI (6/7 fechas por escena) con interpolación de datos en las zonas con nubes.



ESCENA 200/34



- Trabajo con series de imágenes Landsat8



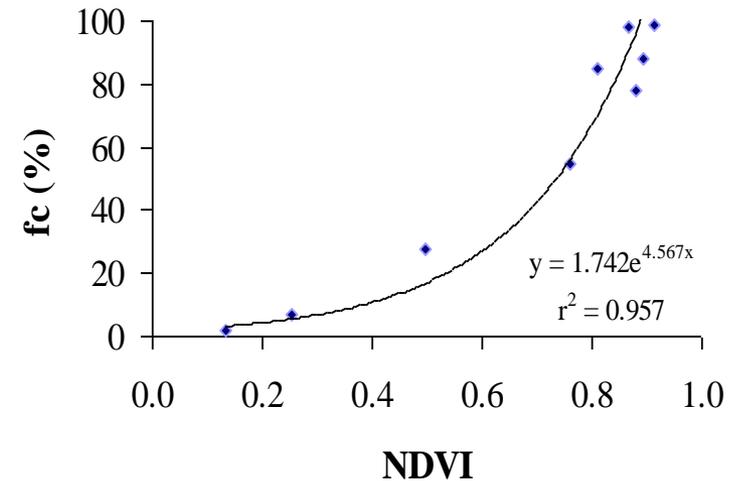
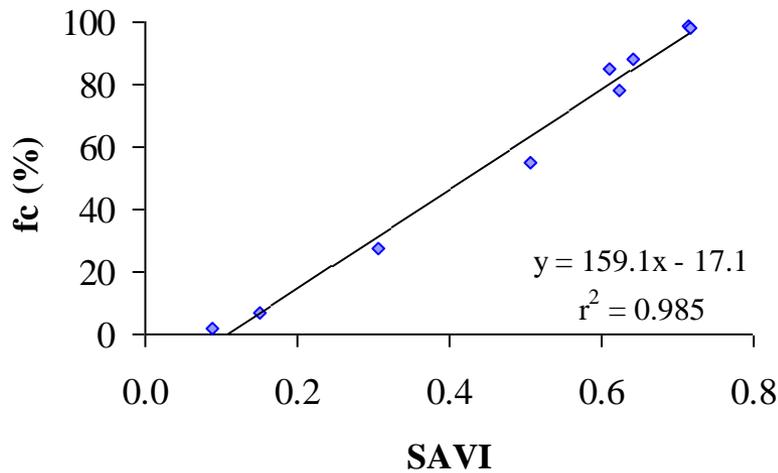
- Compuestos multitemporales de índices SAVI

- Se ha usado el índice SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), basado en el Infrarrojo próximo (banda 5 de LANDSAT-8), rojo (Banda 4) y un factor de ajuste del suelo, L, que por definición puede oscilar entre 0 y 1. En este trabajo $L = 0,5$
- Se eligió SAVI porque se adapta bien a zonas donde el suelo tiene una presencia importante y su relación con la Kc es lineal.

$$SAVI = \frac{IRp - R}{IRp + R + L} * (1 + L)$$

Es bien conocida la correlación entre los índices de vegetación y la cobertura vegetal, que puede asimilarse al coeficiente de cultivo, Kc

Fc(%)	Índices espectrales		Reflectancia (%)		
	SAVI	NDVI	Verde	Rojo	IRC
2	0,089	0,135	14,93	18,83	24,49
7	0,151	0,253	10,81	12,67	21,70
28	0,307	0,496	7,84	7,79	27,57
55	0,506	0,760	5,72	4,60	37,44
78	0,624	0,880	5,08	2,85	44,75
88	0,641	0,893	4,51	2,58	44,89
99	0,714	0,914	4,55	2,49	53,32
98	0,717	0,865	7,75	4,55	59,46
85	0,609	0,809	8,64	5,27	47,90



Campaña de campo 2004 CIFA: Remolacha

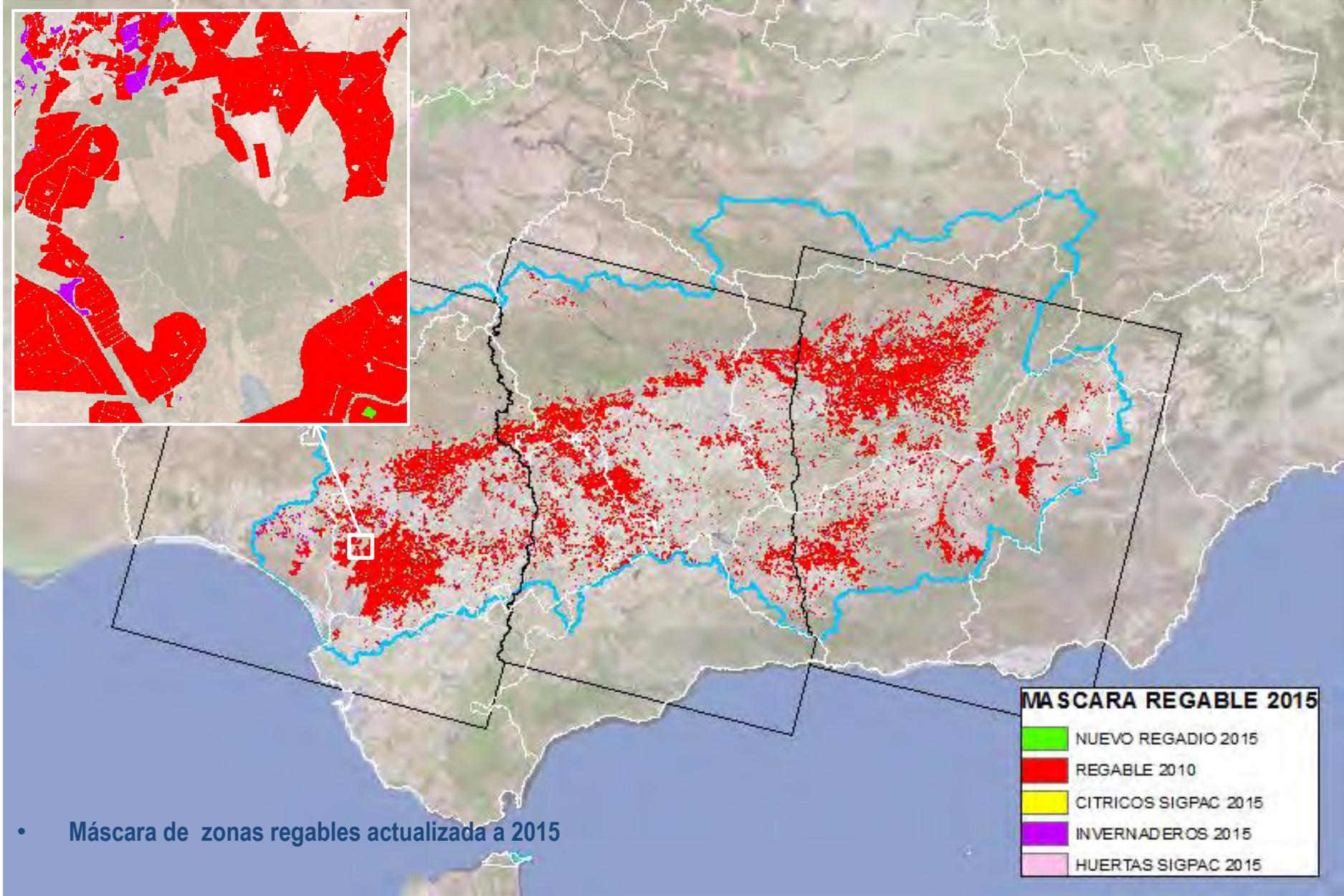


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Actualización de zonas regables



- Máscara de zonas regables actualizada a 2015



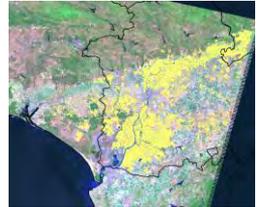
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

Clasificación de cultivos

Máscara actualizada de zonas regables. Escena 202/34 (amarillo)



- Cultivos permanentes
- Olivar
- Cítricos
- Otros frutales

Usos SigPac

- Otros usos SigPac (edificaciones, improductivos, etc, excluidos del cálculo de ET)

Tierra Arable

Cartografía de cultivos bajo plástico

Tierra Arable no bajo plástico

Compuesto de SAVI (7 fechas)

Tierra Arable cultivos bajo plástico

Clasificación

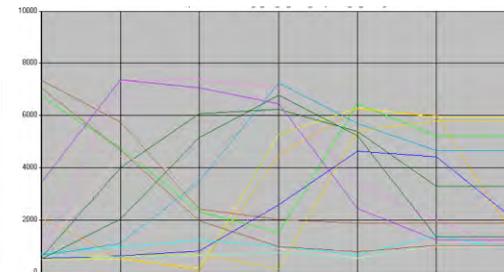
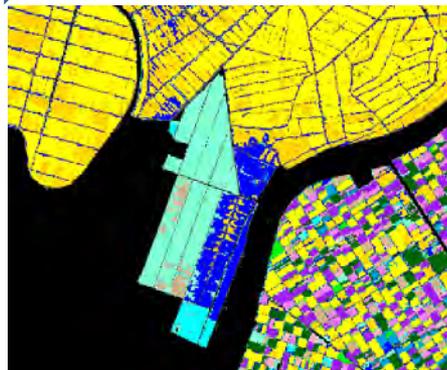
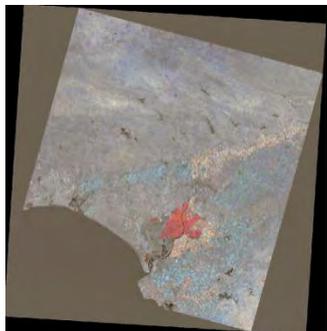
- Cultivos principales en Tierra Arable
- Algodón
- Arroz
- Girasol
- Maíz
- Remolacha
- Cereales y tubérculos

- Cubierta vegetal permanente o cultivos permanentes en TA
- Sin clasificar

- Otros cultivos en Tierra Arable

Clasificación de cultivos

Compuestos SAVI multitemporales → Detalle → Clasificación

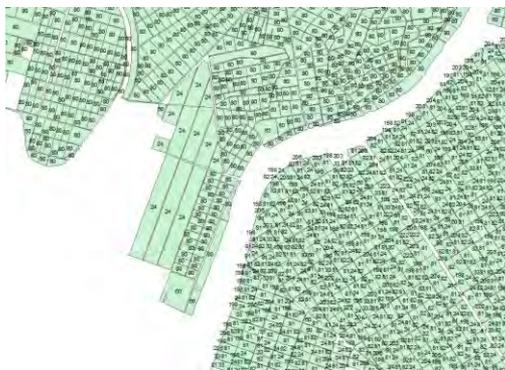


- Arroz_algodon
- Arroz_algodon
- Arroz_algodon
- Arroz_Algodon_tomate_maiz
- Tomate_girasol
- Cereal_barbecho
- Girasol_tomate_maiz
- Alfalfa_cereal_maiz_barbecho_patata
- Girasol_quinoa_maiz_patata
- barbecho_cereal
- cereal
- Algodon_remolacha
- Trigo
- Maiz_sorgo_alfalfa
- Alfalfa_remolacha_maiz

Depuración con declaraciones PAC y clasificación de pixeles no asignados

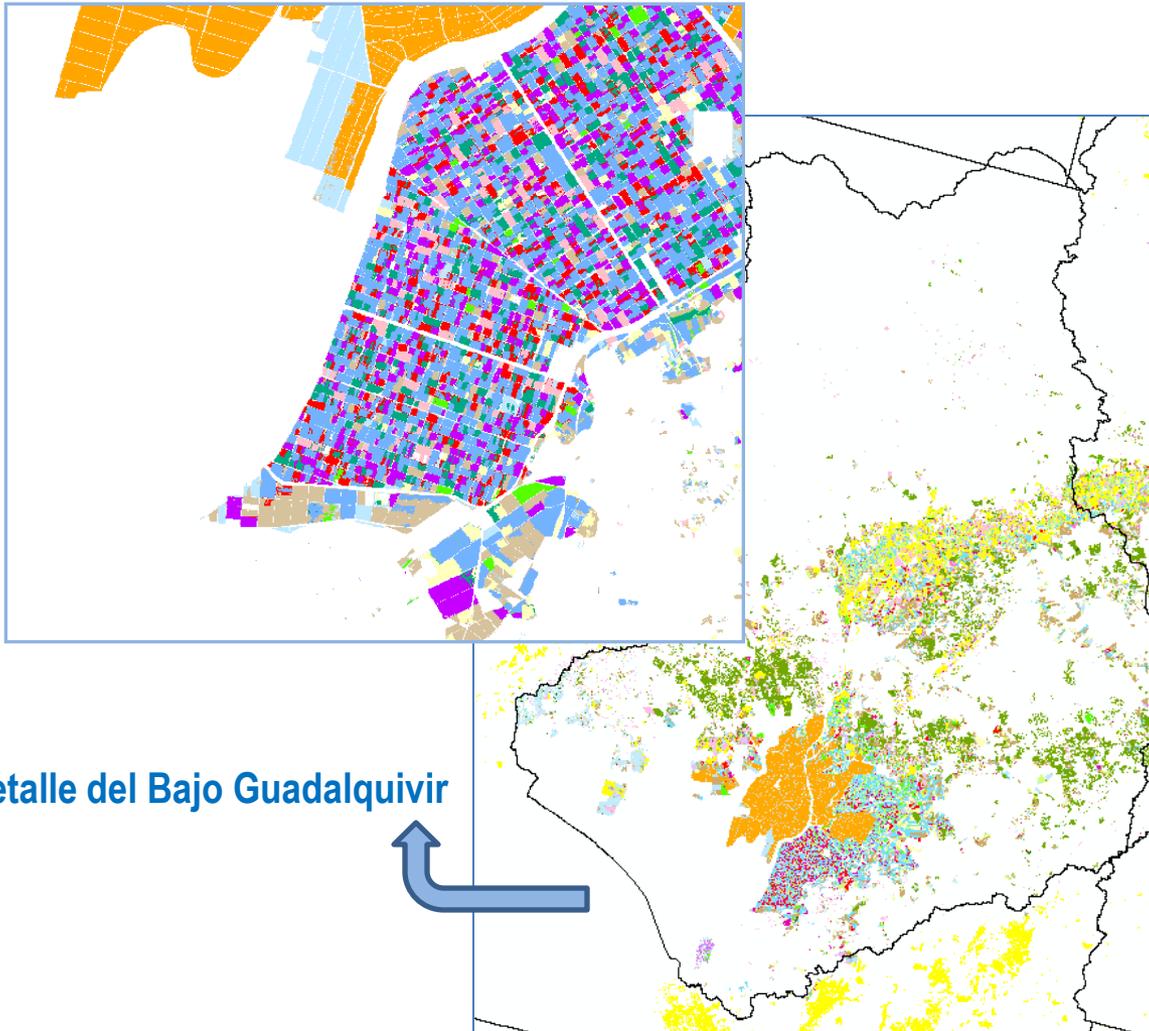
Resultado proceso de depuración

Resultado final



- CULTIVOS**
- ALGODÓN
 - ARROZ
 - MAIZ
 - PATATA
 - TOMATE
 - GIRASOL
 - CEREAL
 - HUERTA
 - ALFALFA
 - REMOLACHA
 - FRUTALES(ITA)
 - BARBECHO

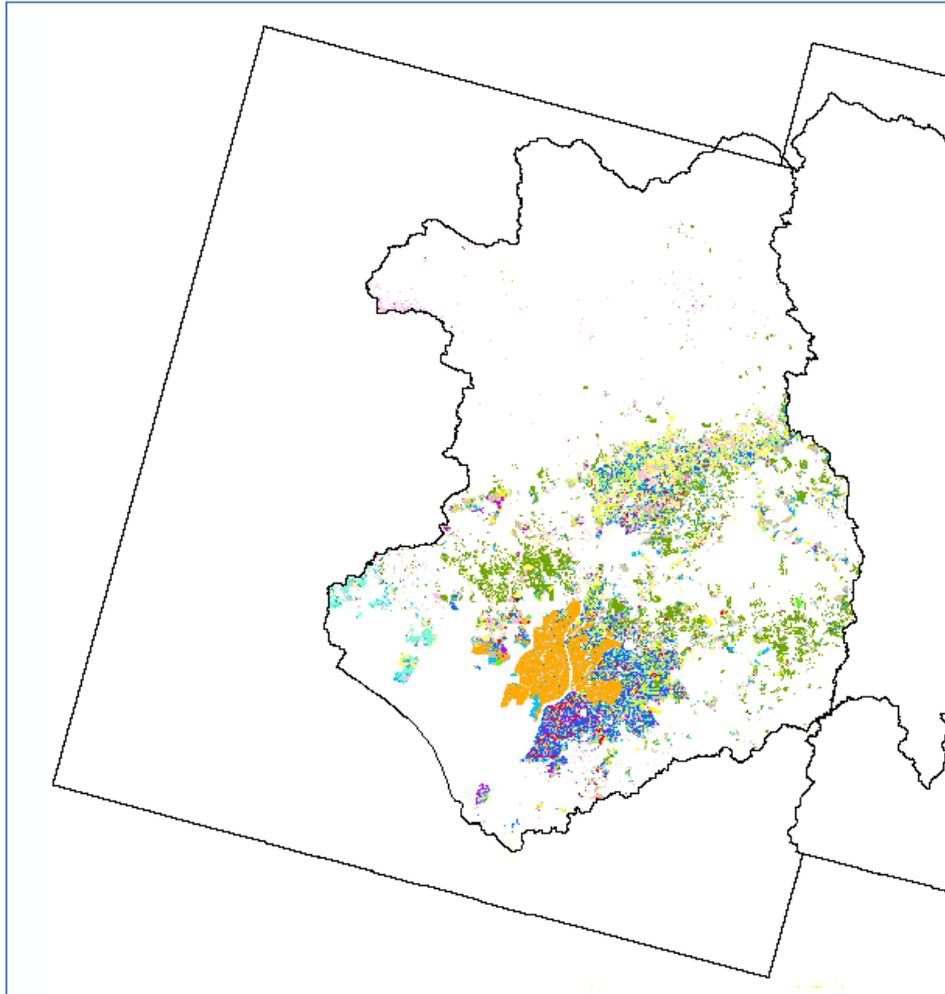
- CULTIVOS**
- ALGODÓN
 - ARROZ
 - MAIZ
 - PATATA
 - TOMATE
 - GIRASOL
 - CEREAL
 - HUERTA
 - ALFALFA
 - REMOLACHA
 - FRUTALES(ITA)
 - BARBECHO



Detalle del Bajo Guadalquivir

IMAGEN 202		
CULTIVO		SUP ha
	cítricos	26.783,19
	frutales	15.374,70
	olivar	52.688,16
	viñedo	726,03
	forestal	1.155,33
	huerta	1.160,64
	invernadero	5.997,33
	pastizal	2.474,37
	improductivo	19.850,49
	algodón	32.167,80
	arroz	37.276,83
	maíz	16.918,56
	patata	1.400,31
	tomate	6.038,55
	girasol	13.935,60
	cereal	37.902,87
	huerta (TA)	3.122,82
	alfalfa	4.298,31
	remolacha	7.311,78
	frutales (TA)	1.597,14
	barbecho	14.475,60
	TOTAL	302.656,41

Resultados de la clasificación 2015 de usos y cultivos en regadío. Escena 202/34



MUESTRA DE CAMPO PARA VALIDACION	
CULTIVO	SUP ha
algodón	716,76
arroz	604,98
maíz	245,07
tomate	127,53
girasol	1.399,95
cereal	690,93
alfalfa	14,13
remolacha	139,59
barbecho	109,98
TOTAL:	4.048,92

CULTIVO	PRECISIÓN DE IDENTIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Algodón:	91,6	
Arroz:	99,8	
Maíz:	94,2	
Tomate:	71,5	confusión con algodón
Girasol:	87,9	confusión con algodón
Cereal:	90,4	
Alfalfa:	97,4	
Remolacha:	88,3	confusión con girasol y maíz
Barbecho:	45,2	confusión con diversos cultivos

PRECISIÓN GLOBAL: 92% de los píxeles bien clasificados

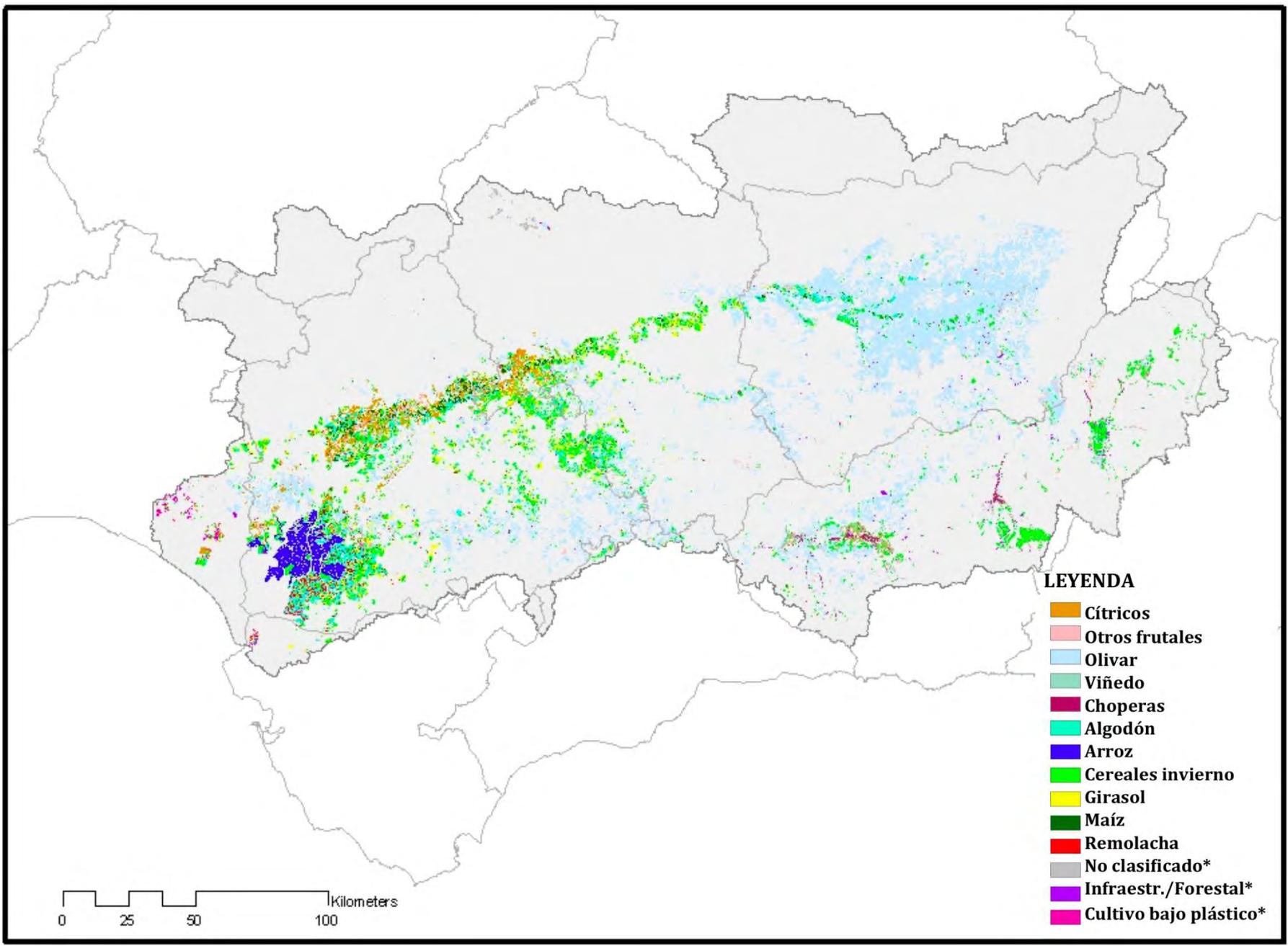


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

CLASIFICACIÓN DE CULTIVOS. 2010



LEYENDA

-  Cítricos
-  Otros frutales
-  Olivar
-  Viñedo
-  Choperas
-  Algodón
-  Arroz
-  Cereales invierno
-  Girasol
-  Maíz
-  Remolacha
-  No clasificado*
-  Infraestr./Forestal*
-  Cultivo bajo plástico*



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

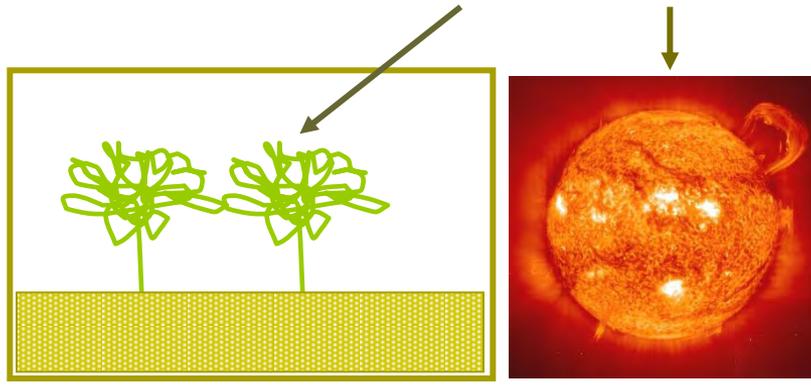
Modelo de cálculo de ET

MEDIA RESOLUCIÓN ESPACIAL. ESTIMACIÓN ET DE CULTIVOS

CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN

□ Modelo FAO:

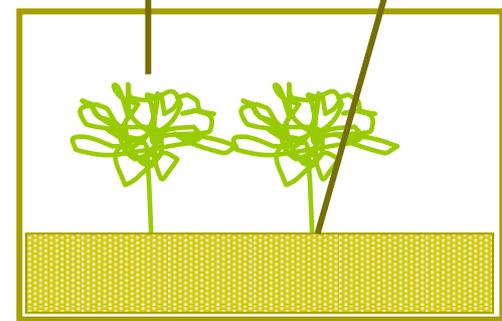
$$ET = Kc \times ETo$$



modelo dual
(Wright, 1982; Allen et al. 1998)

$$(Kcb + Ke) \times ETo$$

Transpiración Evaporación

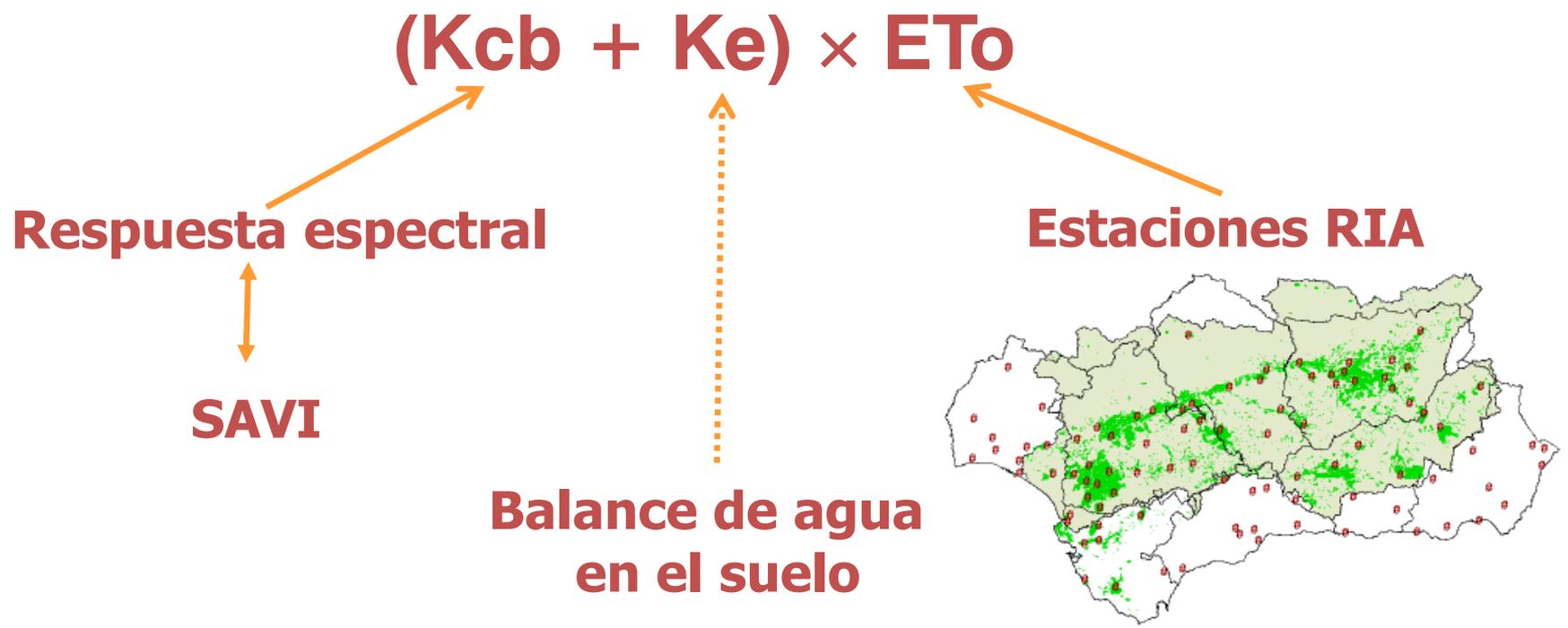


Adaptación:

- Heterogeneidad de cultivos de la Cuenca
- Disponibilidad de datos en la Cuenca del Guadalquivir
- Operatividad

ke

MEDIA RESOLUCIÓN ESPACIAL. ESTIMACIÓN ET DE CULTIVOS CÁLCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN



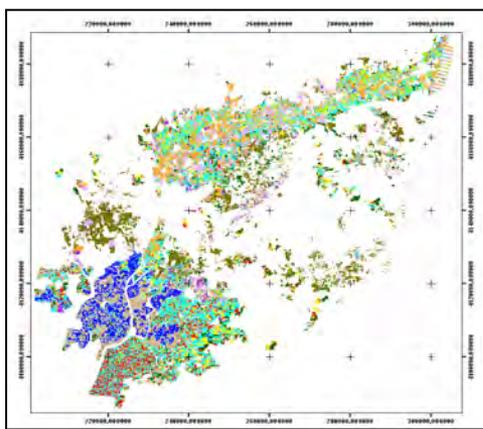
$$(K_{cb} + K_e) \times ETo$$

Respuesta espectral

SAVI

$$K_{cb} = \frac{K_{cb\ max}}{SAVI_{\ eff} - SAVI_{\ suelo}} (SAVI - SAVI_{\ suelo})$$

SAVI: imagen satélite
 $SAVI_{\ suelo}: 0,1$
 $SAVI_{\ eff}: 0,65$
 $K_{cb\ max}: f(\text{cultivo})$



+

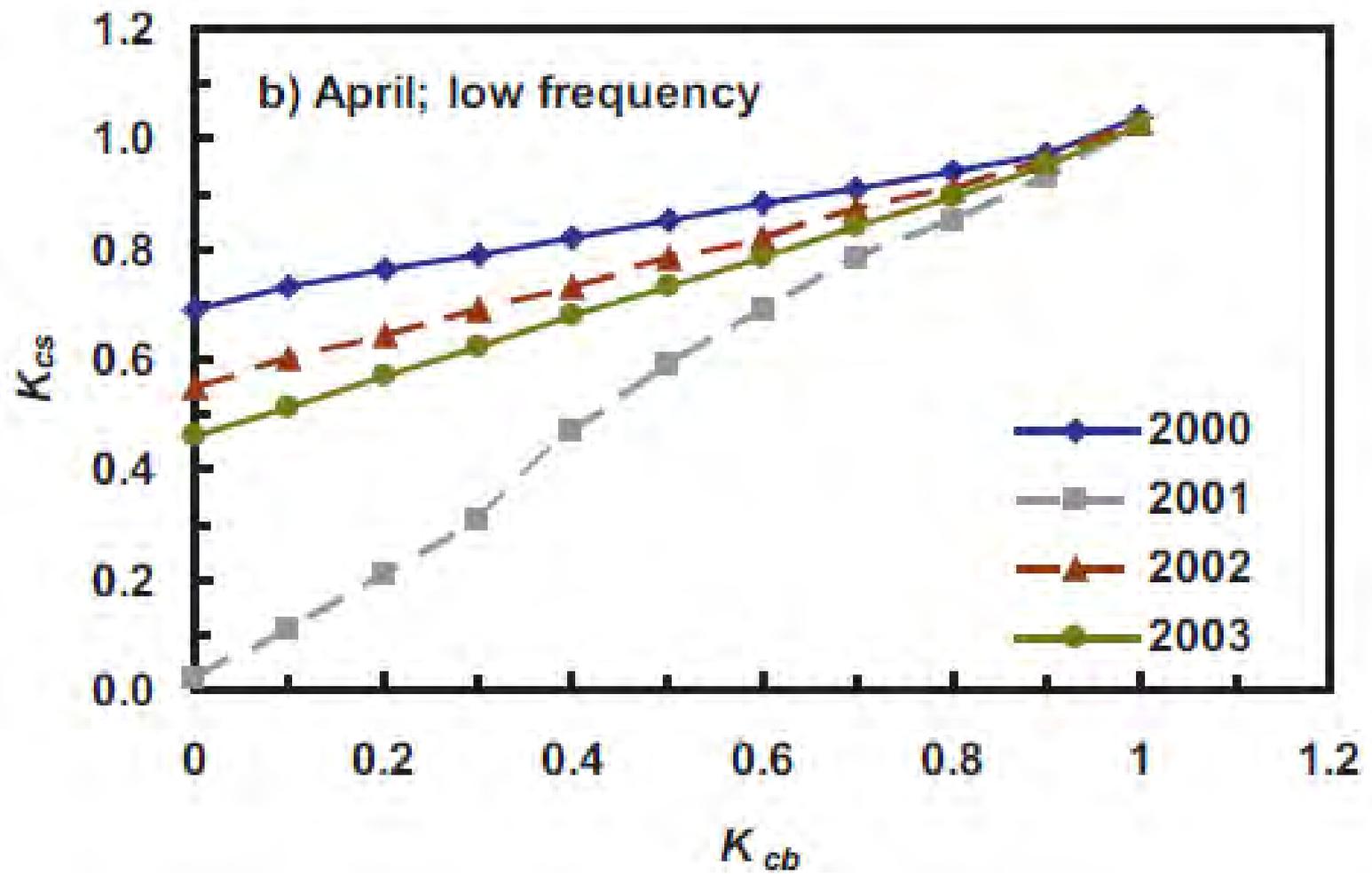
Grupo de cultivos	$K_{cb\ max}$ (FAO)
Sin clasificar, no cultivado	1,15
Cítricos	0,7
Frutales caducos	0,9
Olivar	0,65
Algodón	1,15
Arroz	1,15
Girasol	1,10
Maíz	1,15
Remolacha	1,15
Cereales	1,10



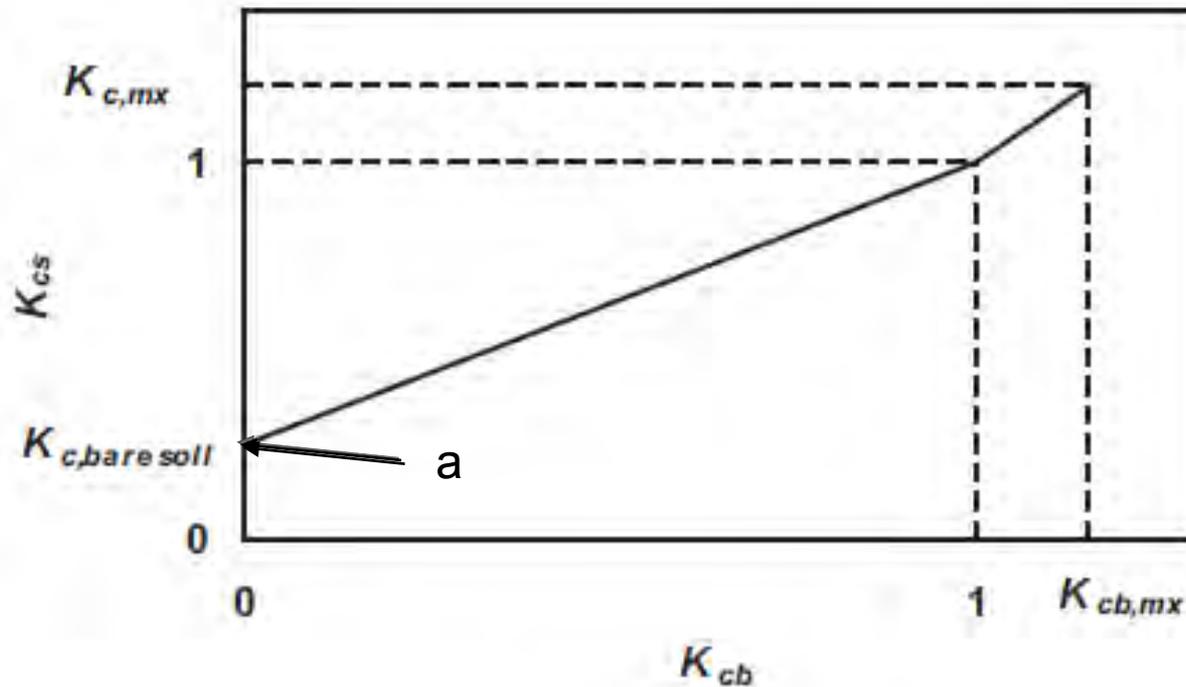
Mapa de K_{cb} distribuido

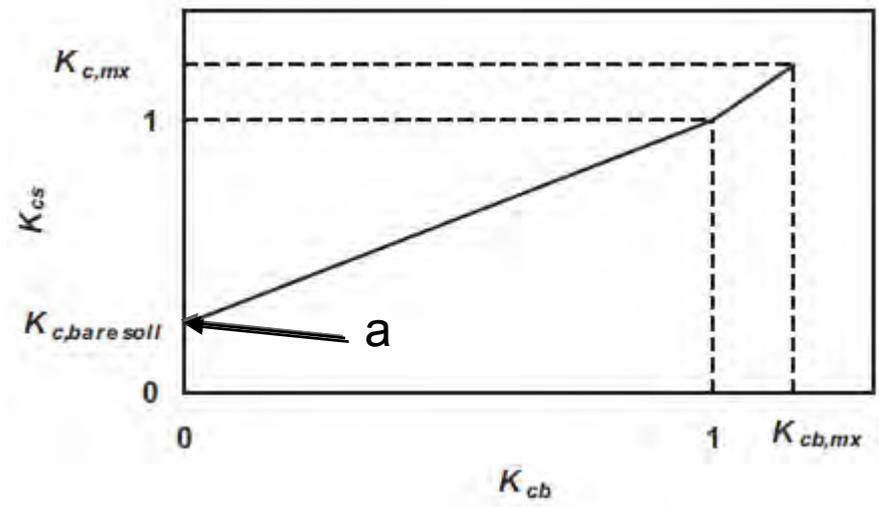


- **Dada la dificultad para realizar balances de agua para grandes extensiones se ha usado una aproximación al mismo: el llamado método del coeficiente sintético (Kcs).**
- **En el se usa un solo término, Kcs, pero ajustado al suelo, precipitación y práctica de riego.**
- **Sustituye los balances de agua reales por un balance simulado a escala regional**
- **Para el periodo representado por una imagen dada y en zonas de precipitación homogénea, se realizan balances aplicando los riegos necesarios con diferentes valores de Kcb**



- Si K_{cb} es 0, toda la evaporación es de suelo desnudo: $K_{cs} = K_{c, \text{baresoll}} = a$
- Si $K_{cb} = 1$, toda la evaporación se debe al cultivo, $K_{cs} = K_{cb} = 1$
- Si K_{cb} es máxima, $K_{cs} = K_{c, \text{max}}$. Ambos valores están en *FAO 56*





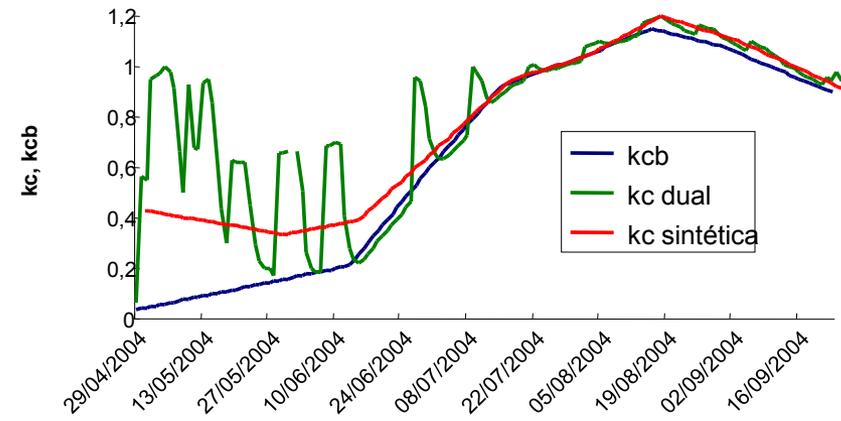
$$K_c = a + (1 - a)K_{cb} \quad \text{si } K_{cb} < 1$$

$$K_c = \frac{K_{c \max} - 1}{K_{cb \max} - 1} K_{cb} + \frac{K_{cb \max} - K_{c \max}}{K_{cb \max} - 1} \quad \text{si } K_{cb} > 1$$

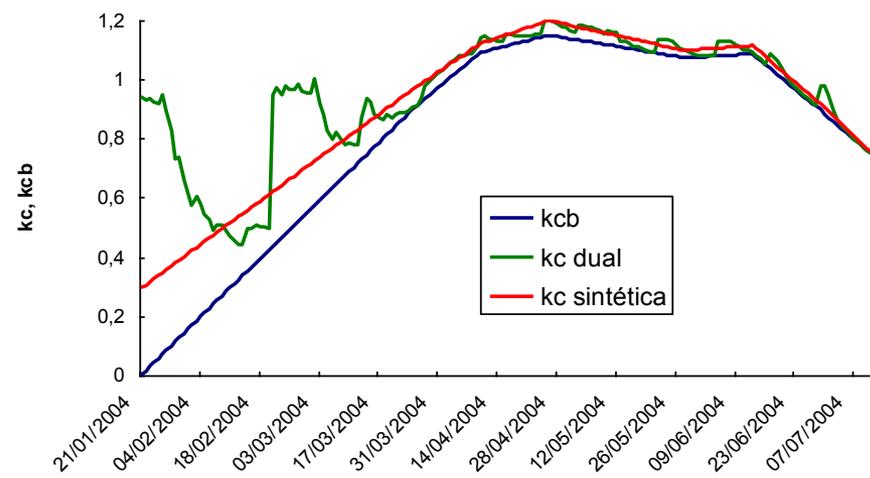
- El parámetro a es función de la precipitación en el periodo y lugar considerados, así como del tipo y frecuencia de riegos y debe ser calibrado localmente y con datos del periodo.
- Se supone una frecuencia y tipo de riego homogéneos para el área y periodo simulados

Ejemplo de evolución del coeficiente de cultivo sintético

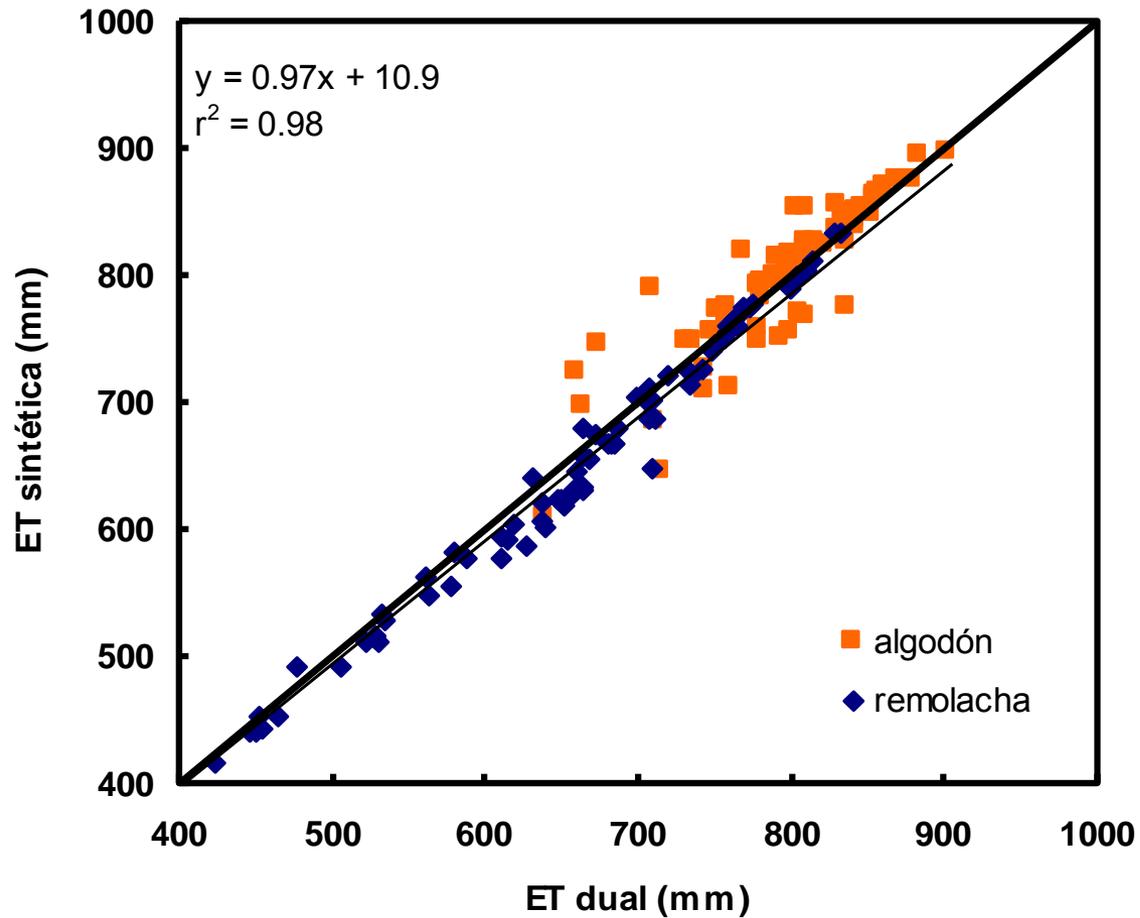
Parcela de algodón



Parcela de remolacha



Evaluación del método sintético





- Los casos del olivar y del arroz merecen un tratamiento diferenciado, dada su incidencia en la cuenca y sus peculiaridades.





GOBIERNO
DE ESPAÑA

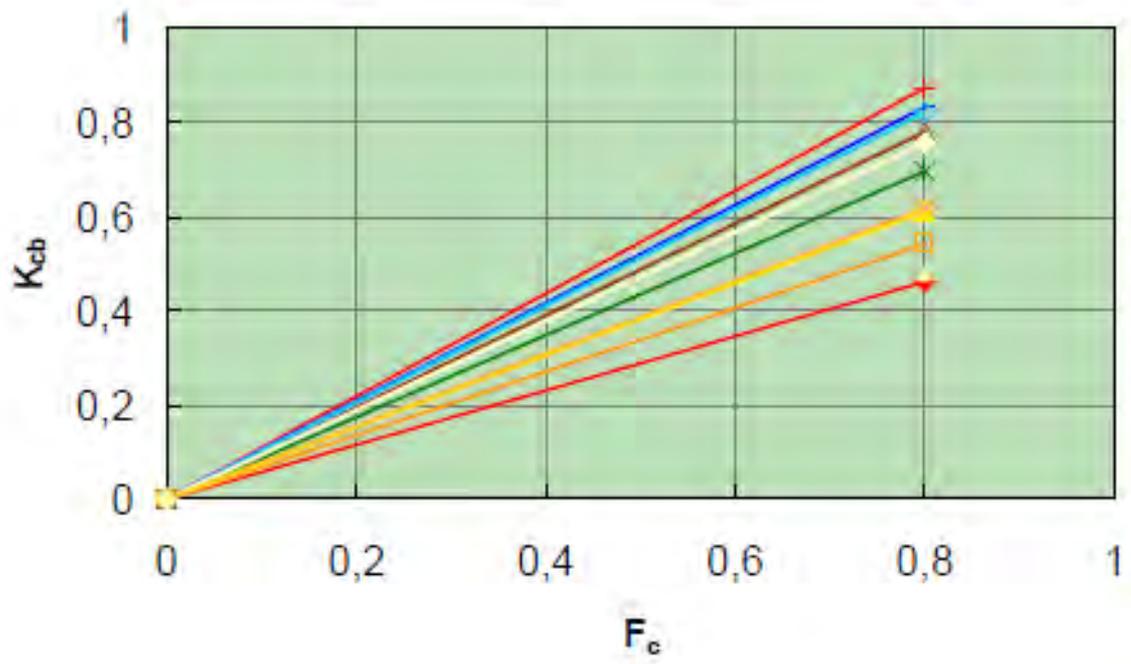
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

OLIVAR



- Ocupa más del 50 % de la superficie regada (458.000 ha) y consume más de 900 hm³ anuales. Se usan distintos valores mensuales de Kcb max



- ◆ Enero
- Febrero
- ▲ Marzo
- × Abril
- * Mayo
- △ Junio
- + Julio
- Agosto
- ◇ Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre

Mes	Kcb max
Enero	0,46
Febrero	0,54
Marzo	0,61
Abril	0,62
Mayo	0,70
Junio	0,78
Julio	0,88
Agosto	0,83
Septiembre	0,82
Octubre	0,76
Noviembre	0,61
Diciembre	0,48



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

ARROZ

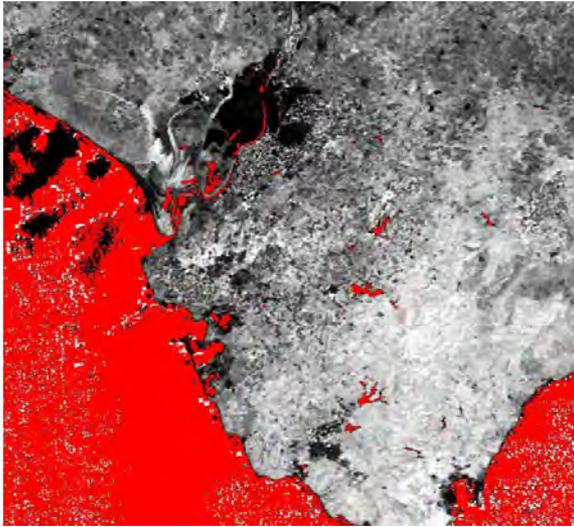




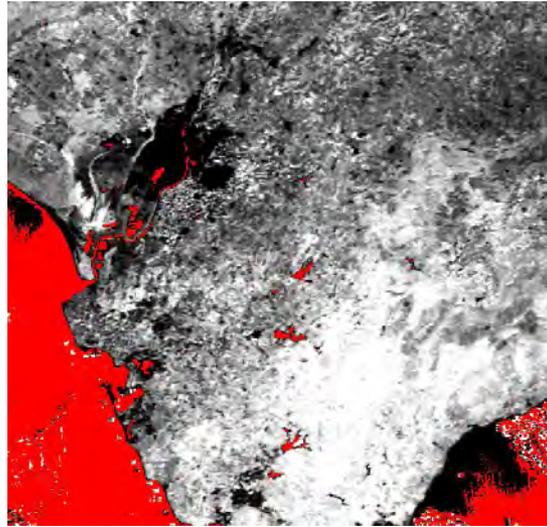
- Ocupa 35.000 ha en el bajo Guadalquivir y consume en torno a 400 hm³ anuales.
- La fecha de inundación se decide mediante análisis de imágenes de media resolución disponibles (MODIS, Landsat) + conocimiento que se tiene a nivel local.
- Hasta entonces el valor de $SAVI_{\text{suelo}}$ se considera 0,1
- A partir de la inundación, hay dos cambios.
 - $SAVI_{\text{suelo}}$ se sustituye por $SAVI_{\text{suelo}} = 0.05$
 - El valor de K_{cb} se considera el de la evaporación (1) desde una lámina de agua equivalente

$$k_{cb}^{\text{arroz}} = \frac{k_{cb\text{max}} - 1}{SAVI_{\text{eff}} - SAVI_{\text{agua}}} (SAVI - SAVI_{\text{agua}}) + 1$$

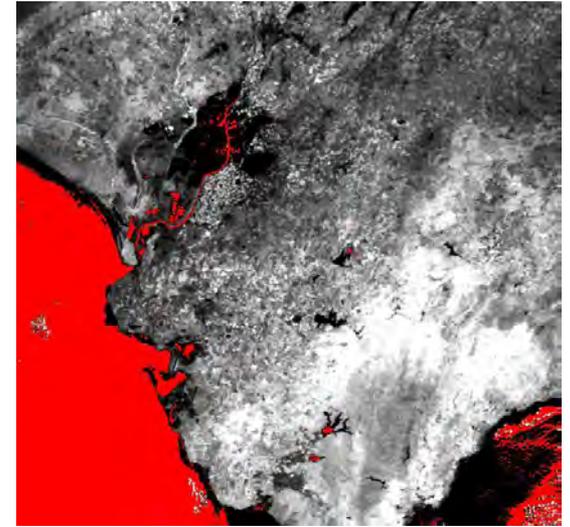
Fecha de inundación del Arroz a partir de imágenes MODIS



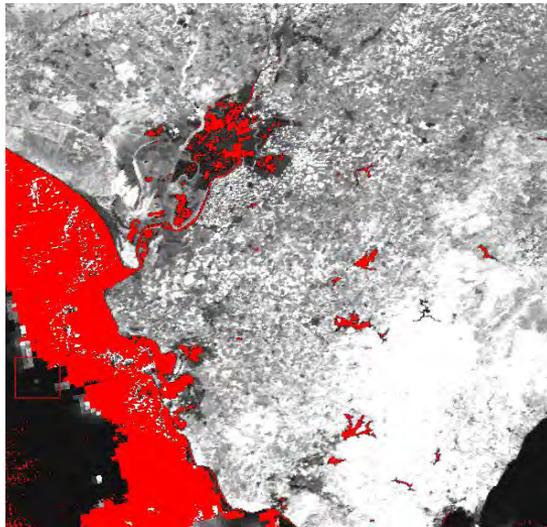
3 Mayo 2015



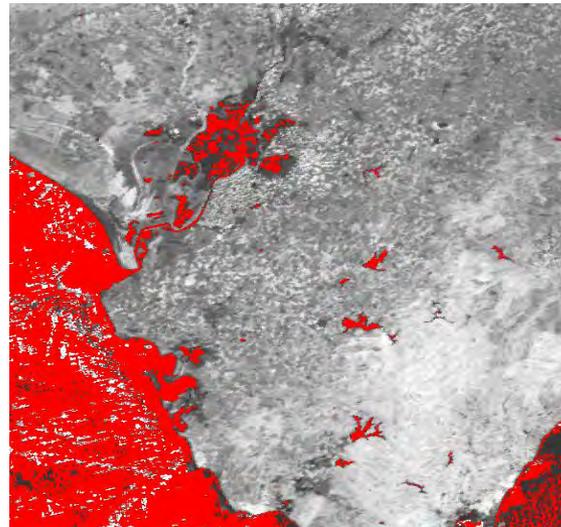
9 Mayo 2015



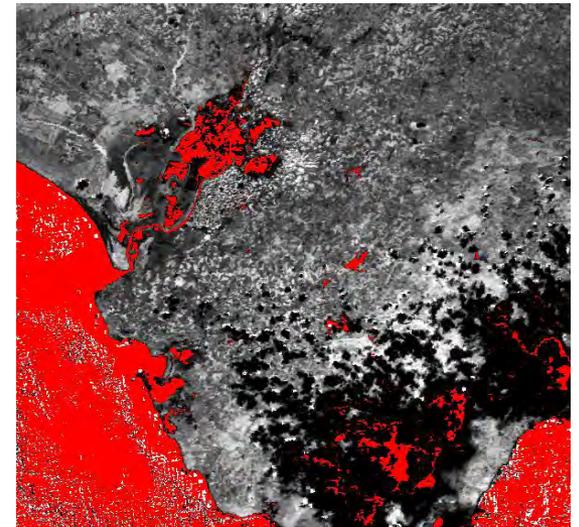
13 Mayo 2015



15 Mayo 2015



17 Mayo 2015



20 Mayo 2015



GOBIERNO
DE ESPAÑA

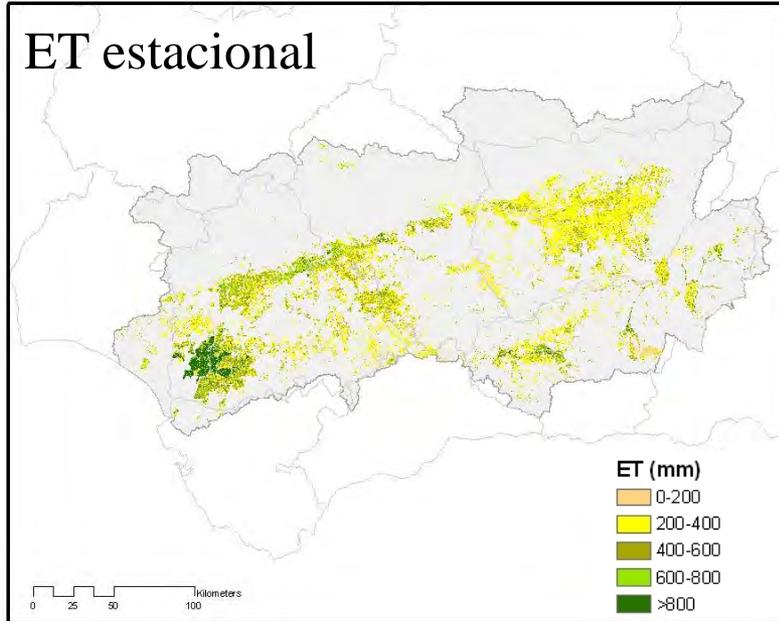
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL GUADALQUIVIR

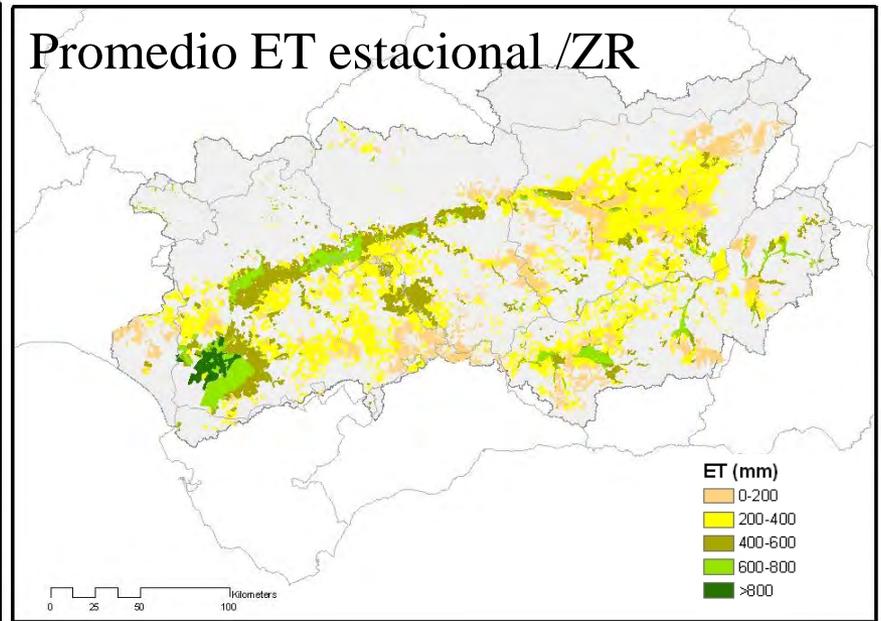
Resultados del calculo de la ET



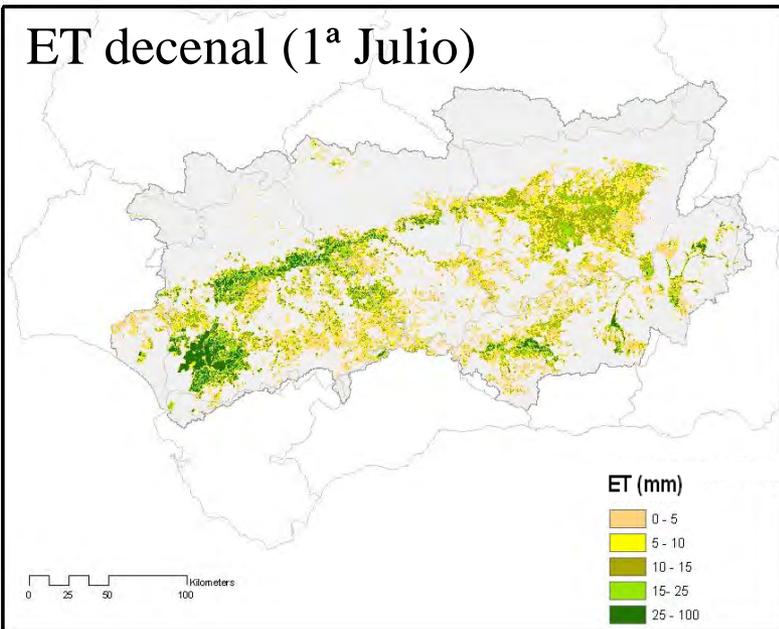
ET estacional



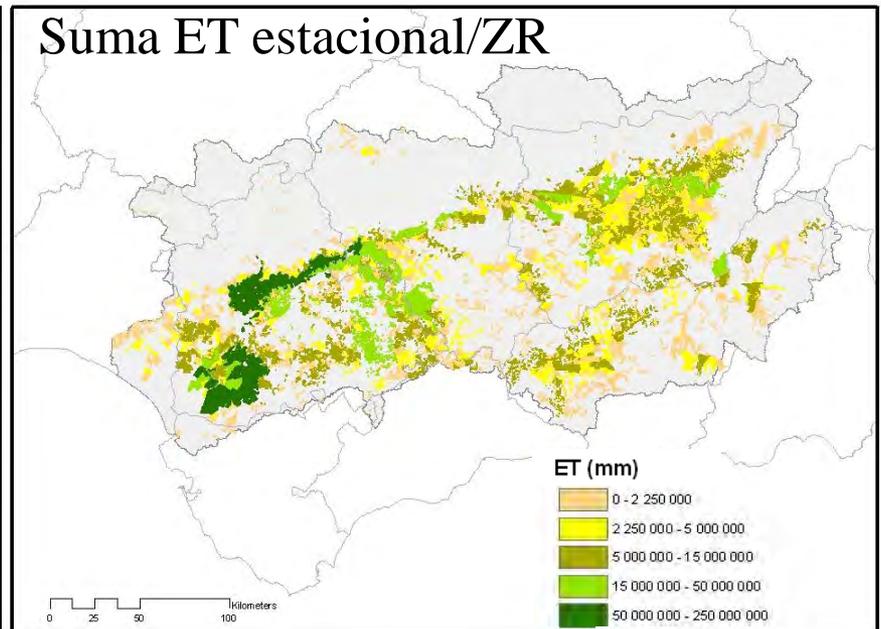
Promedio ET estacional /ZR

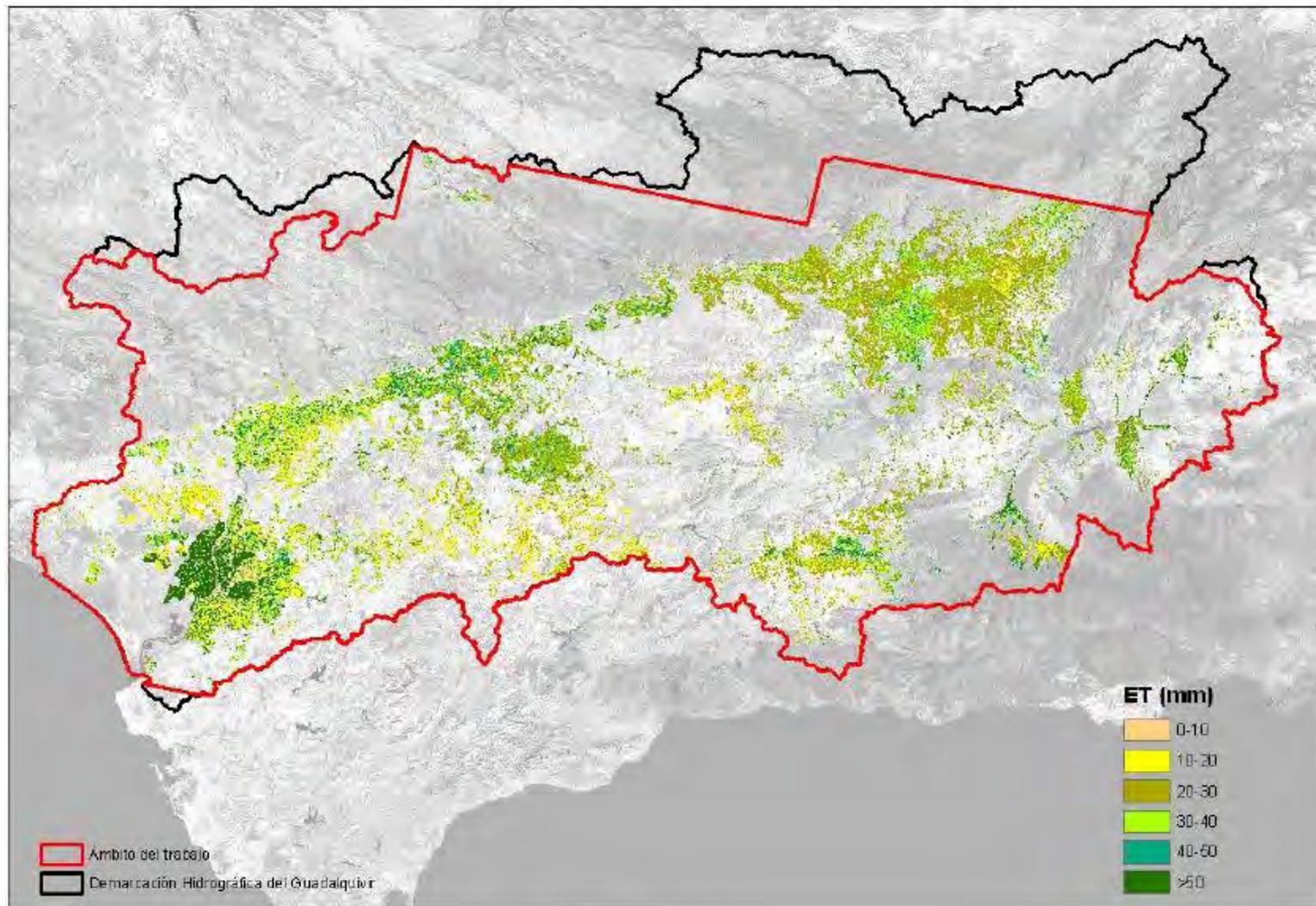


ET decenal (1ª Julio)

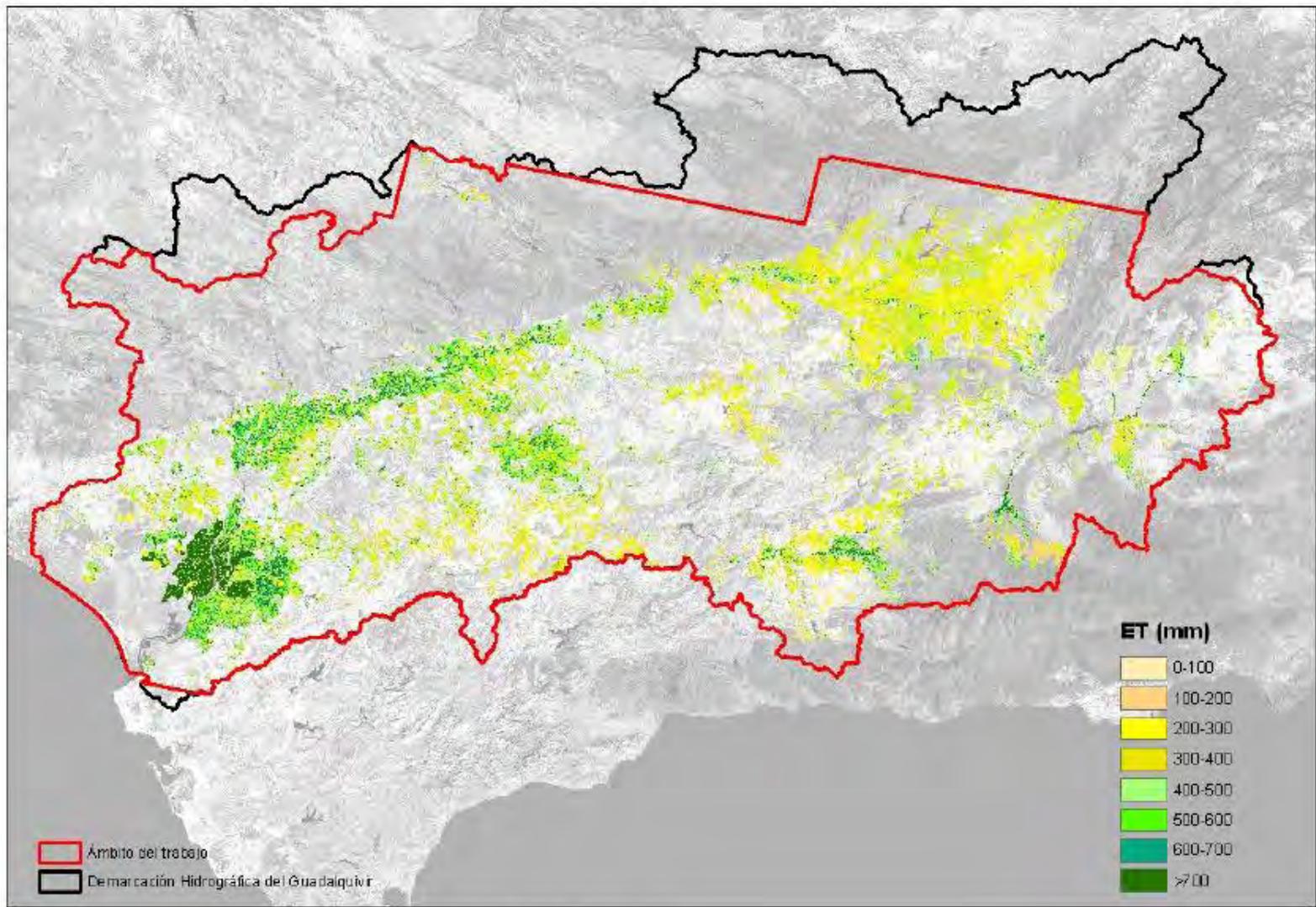


Suma ET estacional/ZR





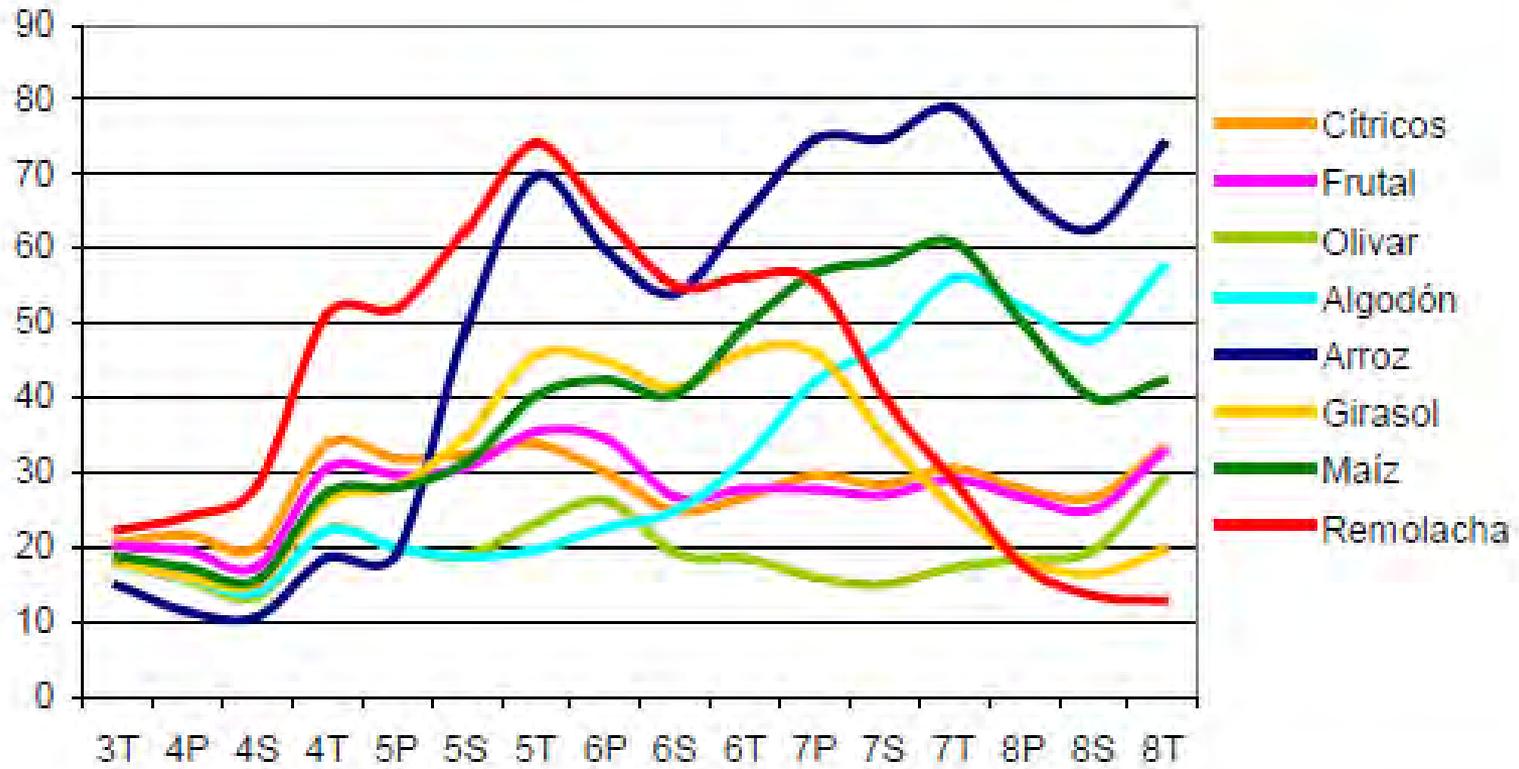
ET acumulada para la zona de estudio en la decena 1-10 junio.



ET acumulada en el periodo de estudio (23 febrero-8 septiembre).

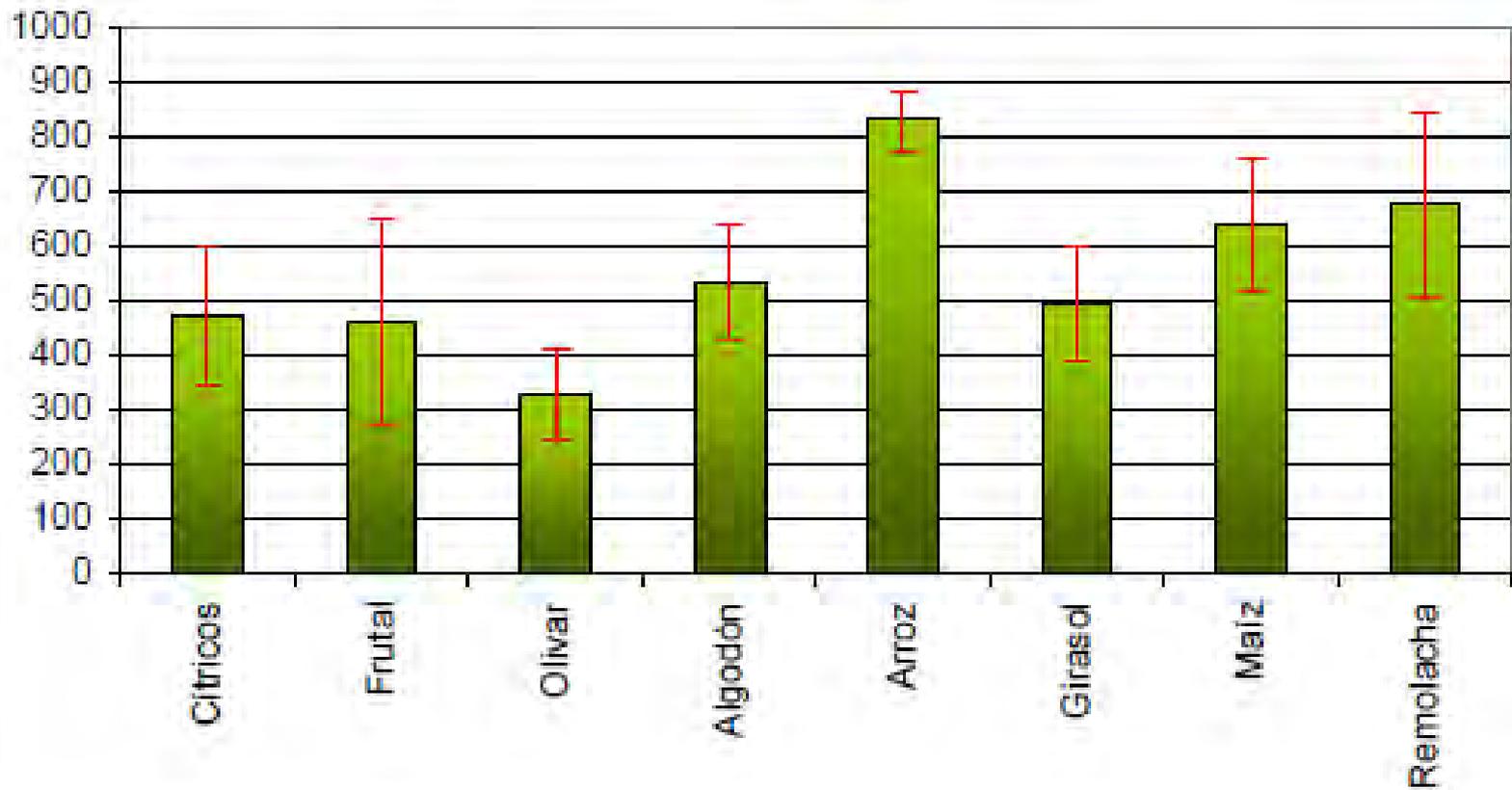


Evolución ET (mm) decenal según cultivos





ET (mm) acumulada 15 de marzo-2 septiembre 2010





Resultados en términos de Planificación Hidrológica: son la razón de ser de este trabajo.

Para calcular las necesidades hídricas se resta a la ET calculada la precipitación útil, considerando como tal al 80 % de la registrada durante la campaña de riego.

En la campaña 2009 la ET media en toda la cuenca fue de 4016 m³/ha y la pcp efectiva 907 m³/ha. Las necesidades de riego medias fueron por tanto 3109 m³/ha, que multiplicado por 854.735 ha dan unas necesidades netas de 2657 hm³.

En la campaña de 2010 las cifras fueron ET = 3975 m³/ha, pcp efectiva 943 m³/ha y las necesidades 3032 m³/ha. A nivel global, 2582 hm³ netos.



Las previsiones que hacía el Plan Hidrológico en 2009 eran de 2429 hm³ netos, muy similar a los anteriores.

Para conocer los volúmenes a servir habría que dividir entre la eficiencia, que se suponía en torno a 0,70 en 2009 y debería ir tendiendo hacia 0,75 en la actualidad. Esto significa un volumen en el entorno de los 3.400 hm³ brutos anuales. Aplicando los valores obtenidos para 2009 y 2010 la demanda total bruta fue de 3543 y 3443 hm³.

El nuevo Plan Hidrológico, aprobado por RD 16/2016 calcula 3.357 hm³ brutos anuales para regadío.

Este tipo de técnicas permiten extender el análisis a unidades mucho menores, como sistemas o subsistemas de explotación o Comunidades de Regantes o incluso fincas.

La comparación de los resultados con las lecturas de los contadores podría ayudar a afinar y calibrar el sistema.



Contraste de los resultados

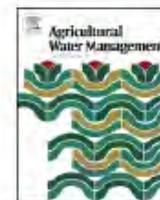


ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Agricultural Water Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat



Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation

L. Mateos^{a,*}, M.P. González-Dugo^b, L. Testi^a, F.J. Villalobos^{a,c}

^a Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Alameda del Obispo, Córdoba, Spain

^b IFAPA, Consejería Agricultura y Pesca de Andalucía, Córdoba, Spain

^c Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 11 December 2012

Keywords:

Crop coefficient
Vegetation index
Remote sensing
Eddy covariance

ABSTRACT

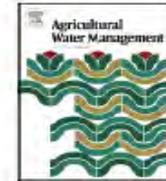
Crop coefficients (the ratio of actual and reference evapotranspiration, ET/ET_0) can be derived from vegetation indices (VIs) obtained by remote sensing. If ground meteorological stations are available to calculate ET_0 , then the FAO method for estimating the ET of actual crops may be applied in combination with series of satellite images if it is assumed that the crops are not water stressed. This approach was evaluated for two annual crops (cotton and garlic) and three tree crops (mandarin, olive, and peach) using measurements of evapotranspiration, made with the eddy covariance method, as ground truth. Thirty images acquired by the Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ sensors were used to calculate VIs and derive crop coefficients. The assessment (based on 557 data pairs) led to an overall positive valuation of the method. The root-mean-square deviation over all estimates was 0.75 mm day^{-1} . It was concluded that the VI- ET_0 method is valid and robust for estimating spatially distributed evapotranspiration in large, irrigated areas. Weaknesses of the method were identified and new research to overcome these deficiencies is proposed.



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Agricultural Water Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat



Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. II. Application on basin scale



M.P. González-Dugo^{a,*}, S. Escuin^b, F. Cano^b, V. Cifuentes^c, F.L.M. Padilla^a, J.L. Tirado^b, N. Oyonarte^b, P. Fernández^b, L. Mateos^d

^a IFAPA, Consejería de Agricultura y Pesca de Andalucía, Apdo 3092, 14080 Córdoba, Spain

^b Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA), Bergantín, 39 41012 Sevilla, Spain

^c Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Plaza de España, 41071 Sevilla, Spain

^d Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Apdo 4084, 14080 Córdoba, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 April 2012

Accepted 29 March 2013

Available online 6 May 2013

Keywords:

Evapotranspiration

Irrigation

Remote sensing

Crop coefficient

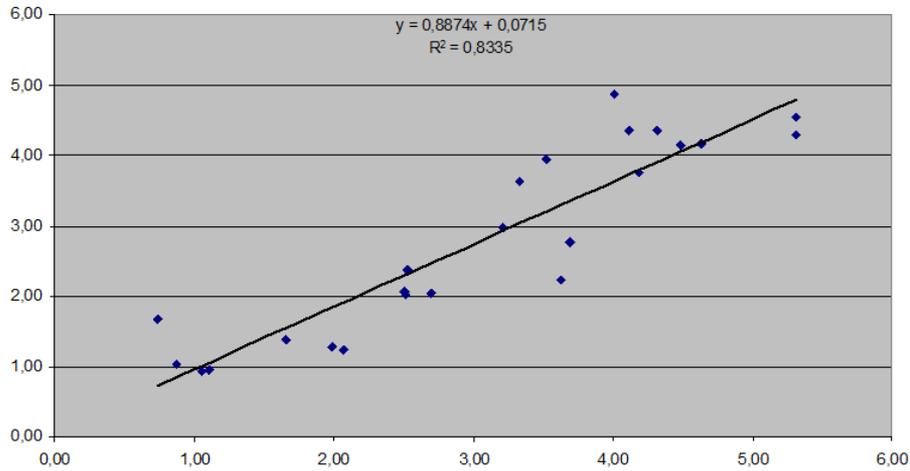
Basin scale

ABSTRACT

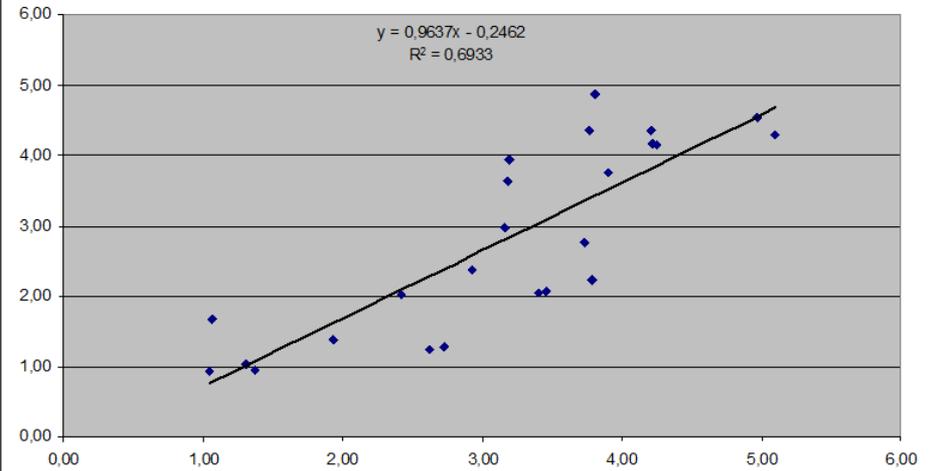
Water management at different decision levels may be supported by the assessment of evapotranspiration (ET) on large spatial scales. In this study, a previously validated approach to estimating unstressed ET, based on the ability of vegetation indices to trace crop growth and thus to derive basal crop coefficients, has been applied to the irrigated areas of the Guadalquivir river basin in southern Spain. Vegetation indices, provided by a series of high spatial resolution satellite images for 2007, 2008 and 2009, supported the assessment of daily to seasonal ET of individual fields, enabling crop-oriented and individual water use to be analysed. The segmentation of the basin into zones with homogeneous climate and crop-growth patterns was the first step towards crop identification based on temporal trends in the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Non-permanent crops were classified with good accuracy. Existing spatial databases of permanent crops enabled land use to be determined. The applied methodology has been compiled in a planning and operational tool named MINARET (MonitorINg irrigated AgricultuRe ET) for routinely monitoring crop water consumption in the irrigated lands of the Guadalquivir basin and it is now available for the Guadalquivir river authority.

Cultivo	tipo calculo	ET media	RMSD (mm)	R ²
TODO (588 casos)	dual	3,43	0,99	0,88
	sinтетica	3,29	1,26	0,86
	medida	3,45		
Algodón (19)	dual	3,06	0,76	0,83
	sinтетica	3,02	1,00	0,69
	medida	2,79		
Ajo (12)	dual	4,35	0,34	0,94
	sinтетica	4,33	0,37	0,95
	medida	4,45		
Olivo 1999 (87)	dual	1,64	0,42	0,77
	sinтетica	1,73	0,56	0,21
	medida	1,71		
Olivo 2000 (102)	dual	1,89	0,63	0,09
	sinтетica	1,68	1,12	0,21
	medida	2,30		
Mandarino (12)	dual	2,32	0,22	0,72
	sinтетica	2,51	0,40	0,67
	medida	2,34		
Melocotonero (356)	dual	4,37	1,20	0,88
	sinтетica	4,17	1,47	0,87
	medida	4,28		

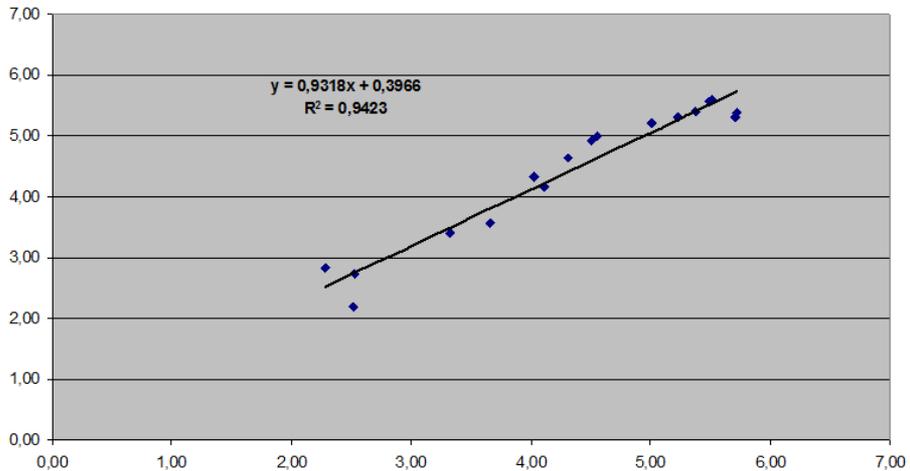
Algodon real vs metodo dual



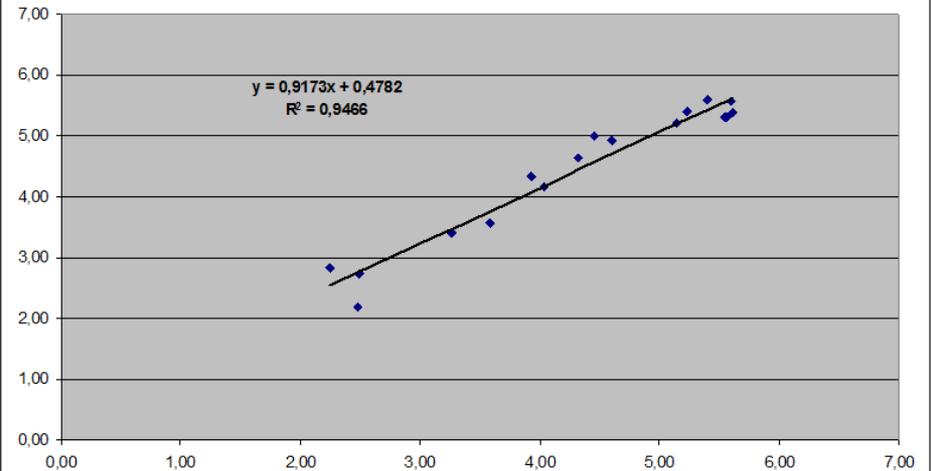
Algodon: real vs metodo sintético

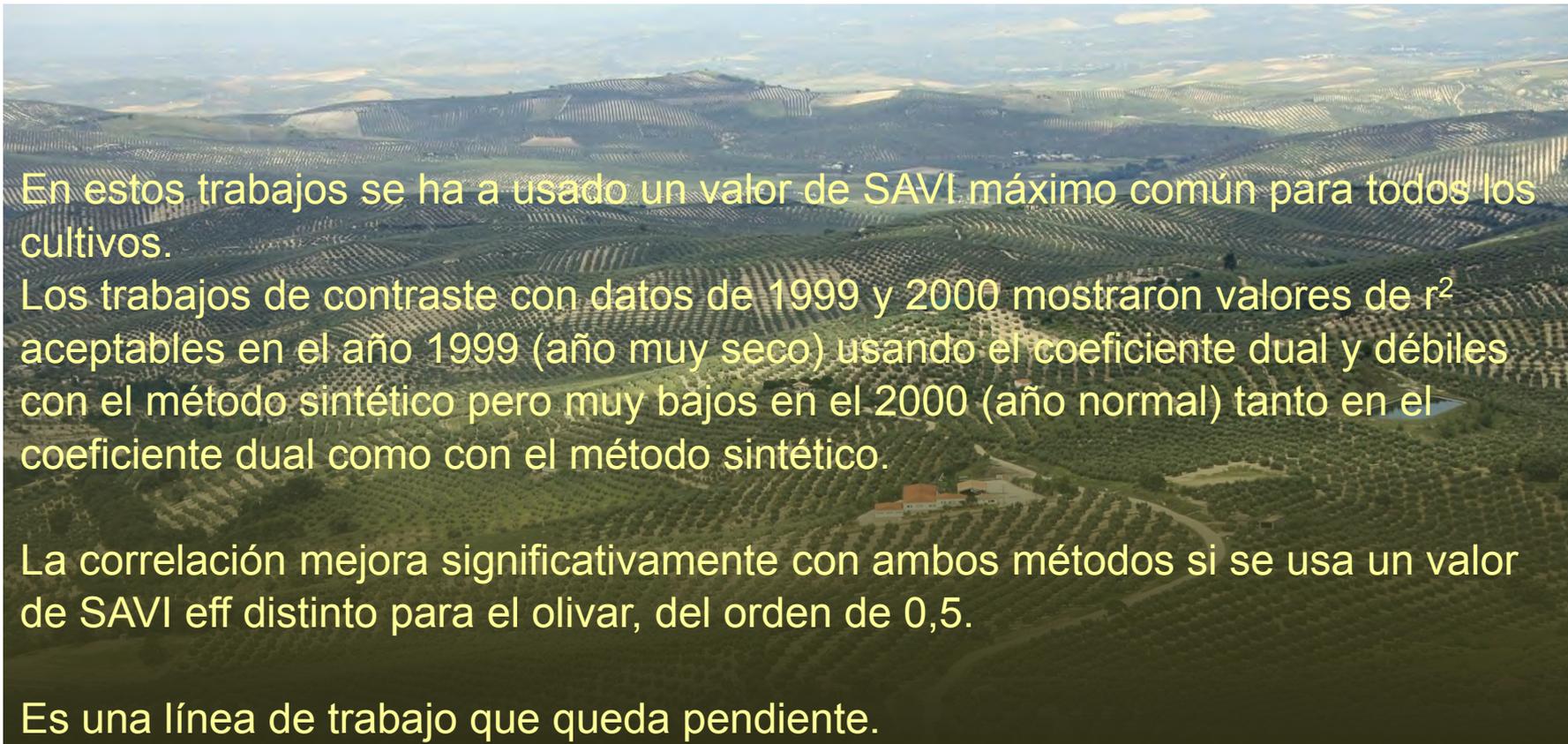


Ajo: real vs metodo dual



Ajo. real vs método sintético





En estos trabajos se ha a usado un valor de SAVI máximo común para todos los cultivos.

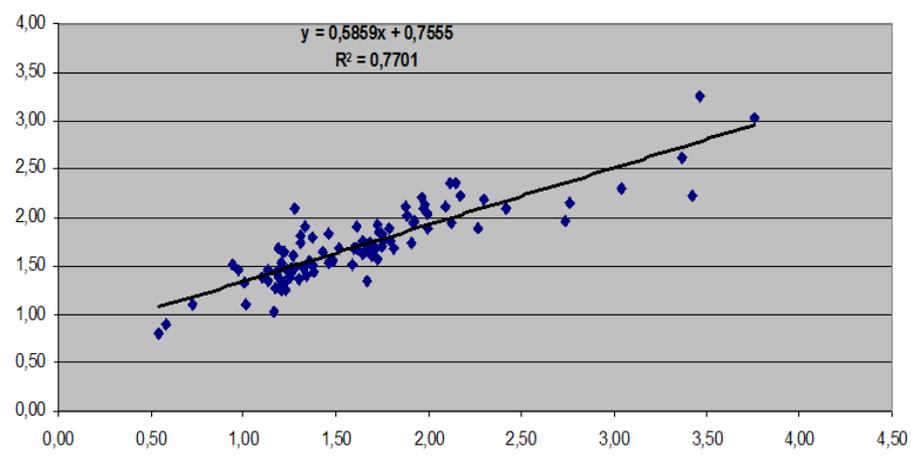
Los trabajos de contraste con datos de 1999 y 2000 mostraron valores de r^2 aceptables en el año 1999 (año muy seco) usando el coeficiente dual y débiles con el método sintético pero muy bajos en el 2000 (año normal) tanto en el coeficiente dual como con el método sintético.

La correlación mejora significativamente con ambos métodos si se usa un valor de SAVI eff distinto para el olivar, del orden de 0,5.

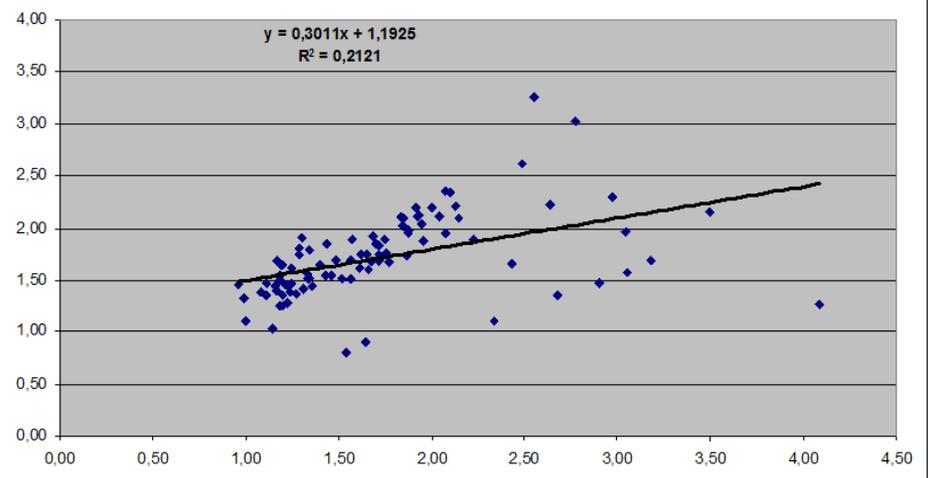
Es una línea de trabajo que queda pendiente.



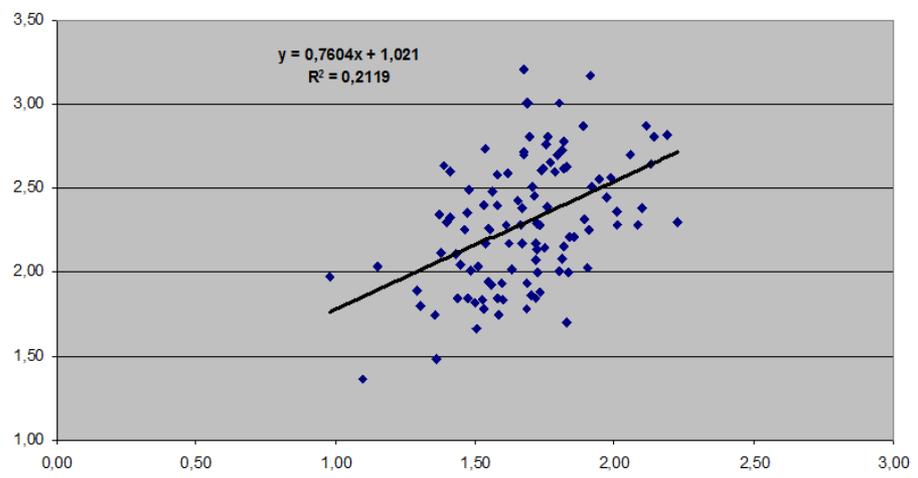
Olivo 1999. Real vs metodo dual



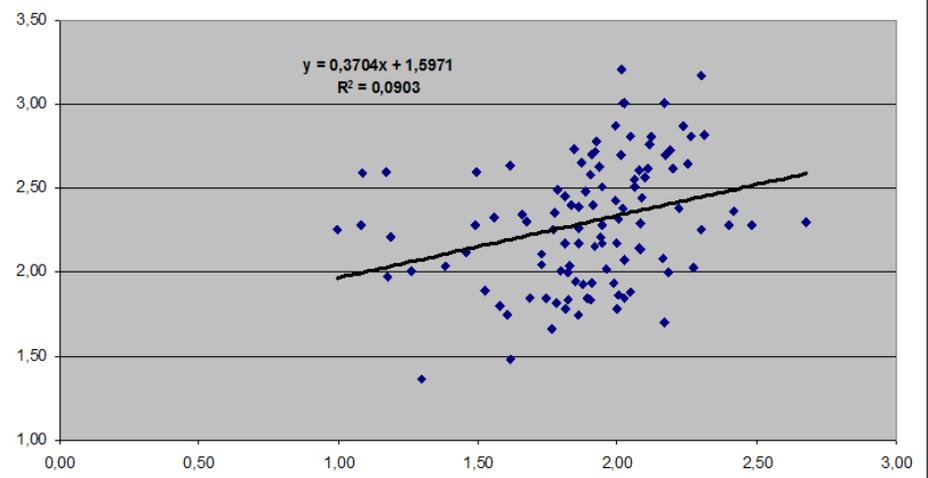
Oliva 1999. Real vs método sintético



Olivo 2000. Real vs método dual

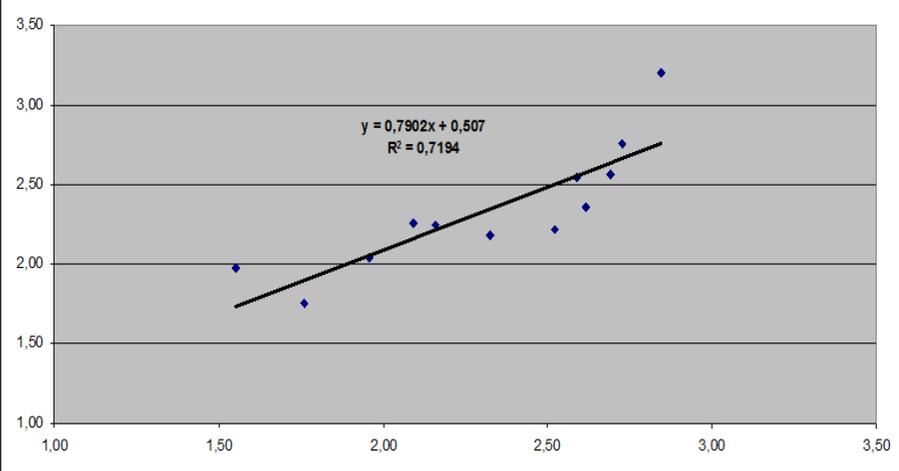


Olivo 2000. Dual vs metodo sintético

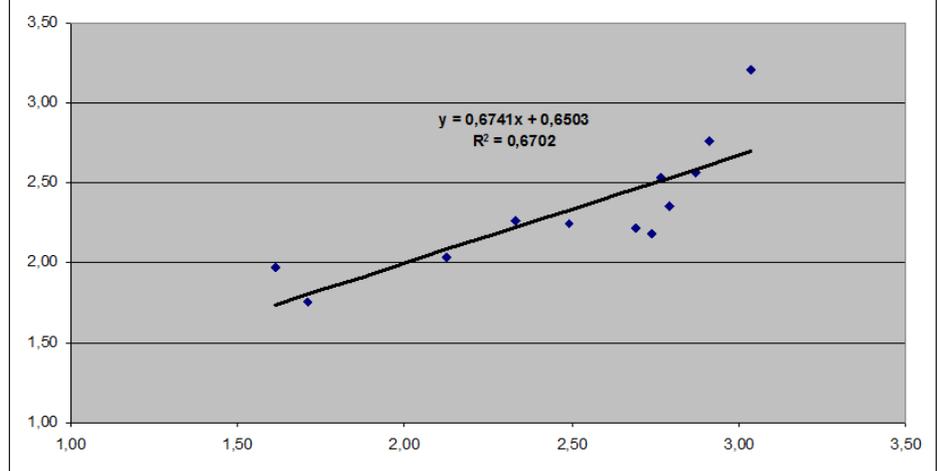


DIFUSIÓN DE RESULTADOS: VALIDACION

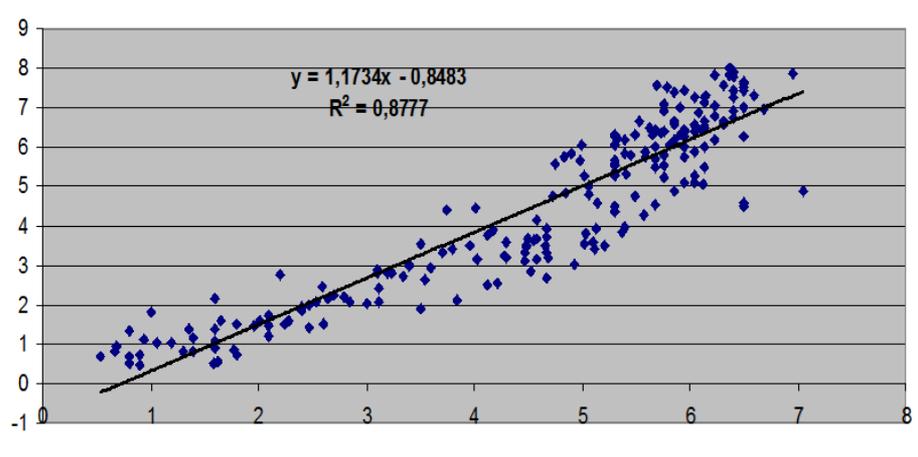
Mandarín. Real vs método dual



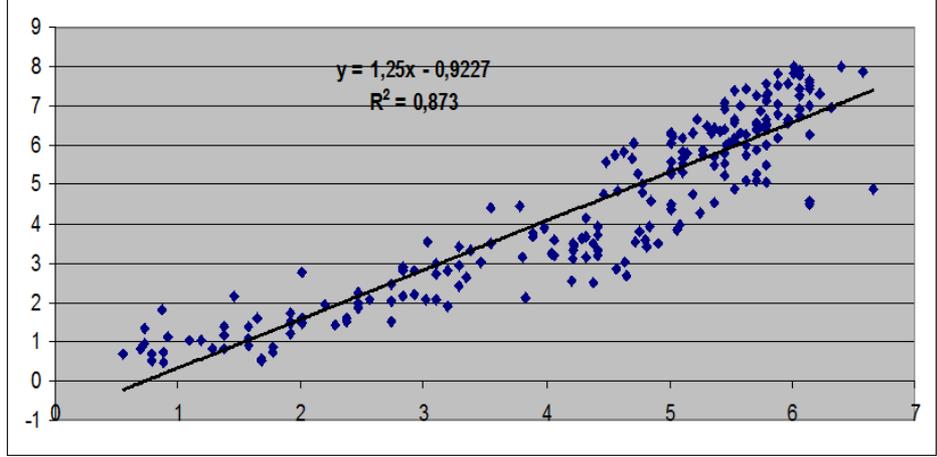
Mandarino. Real vs método sintético



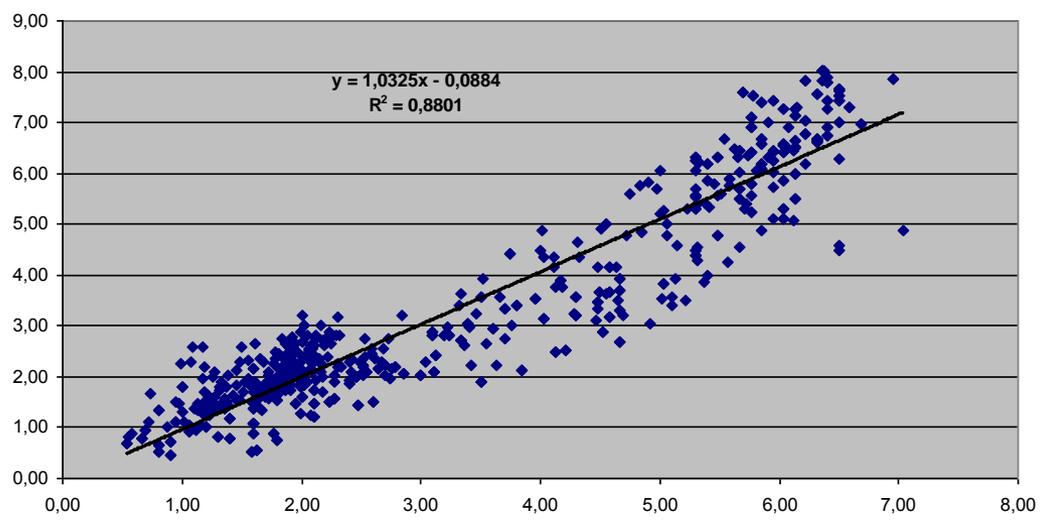
Melocoton. Real vs metodo dual



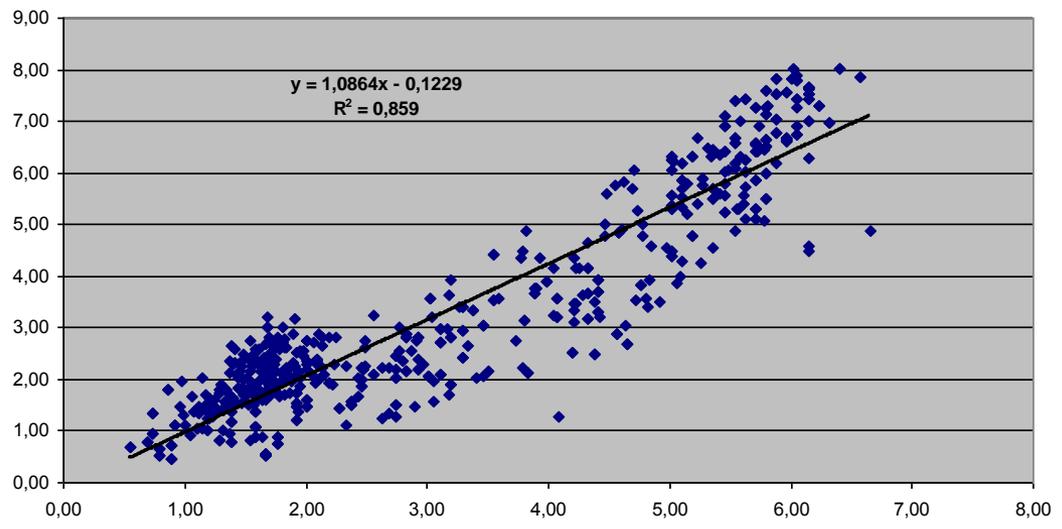
Melocotón. Real vs método sintético



todos los cultivos: real vs metodo dual



todos los cultivos: real vs método sintético





• **Gracias por su atención**

