

Seguimiento ecológico de humedales mediante teledetección

Ricardo Díaz-Delgado Hernández
Laboratorio de SIG y TD
Estación Biológica de Doñana-CSIC
rdiaz@ebd.csic.es



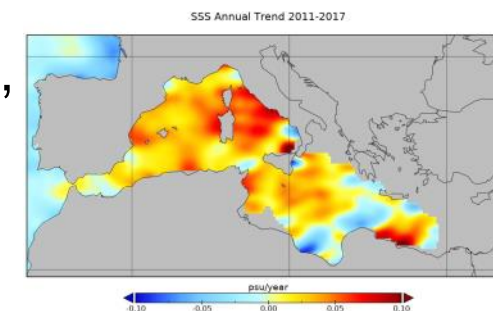
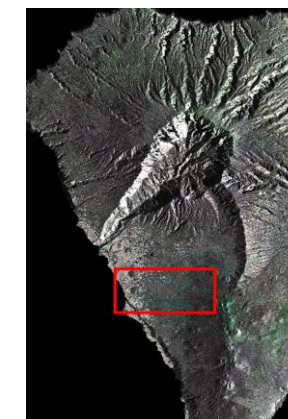
Sumario

- Breve nota sobre la PTI-Teledetect (CSIC)
- Humedales: importancia, tipos, funciones y servicios
- Pérdida global de humedales
- Retos cartografía de humedales
- Métodos, algoritmos, índices habituales
- Productos de humedales (globales y Copernicus)
- Humedales de Doñana
- Seguimiento de los humedales de Doñana
- Doñana como supersitio de validación (eLTER)

Plataformas Temáticas Interdisciplinares (PTI) del CSIC

Las PTIs son un instrumento finalista de investigación e innovación, creadas para abordar retos multidisciplinares de alto impacto científico, económico y social. Están integradas por grupos de investigación de distintos centros del CSIC y abiertas a la participación de empresas, administración, otras instituciones y agentes sociales.

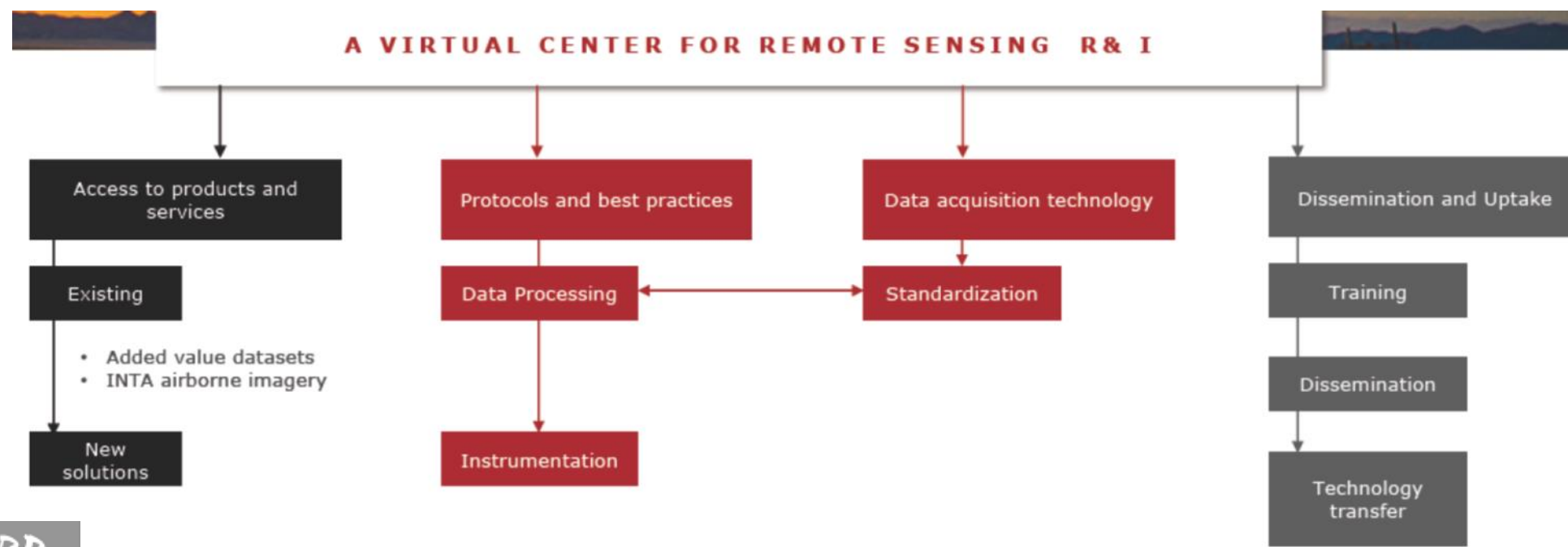
- **Teledetect** busca unir la investigación española en TD y sus capacidades de la Academia a la Industria y a las Administraciones
- Acoge a todos los equipos relevantes del CSIC que trabajan en TD (**68 científicos de 20 grupos de diferentes institutos del CSIC + IH Cantabria +...**).
- El INTA proporciona experiencia en adquisición de imágenes y tecnología de TD, y participa en la coordinación y en el WP4.





Entre los objetivos de Teledetect se incluyen:

- **Proveer** de productos de TD existentes a los usuarios
- **Adaptar** productos existentes a las necesidades de los usuarios
- **Desarrollar** productos que cumplan los requerimientos de los usuarios
- **Servicios** de asesoría y consultoría



Humedales

“Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los 6 metros”. Convenio RAMSAR

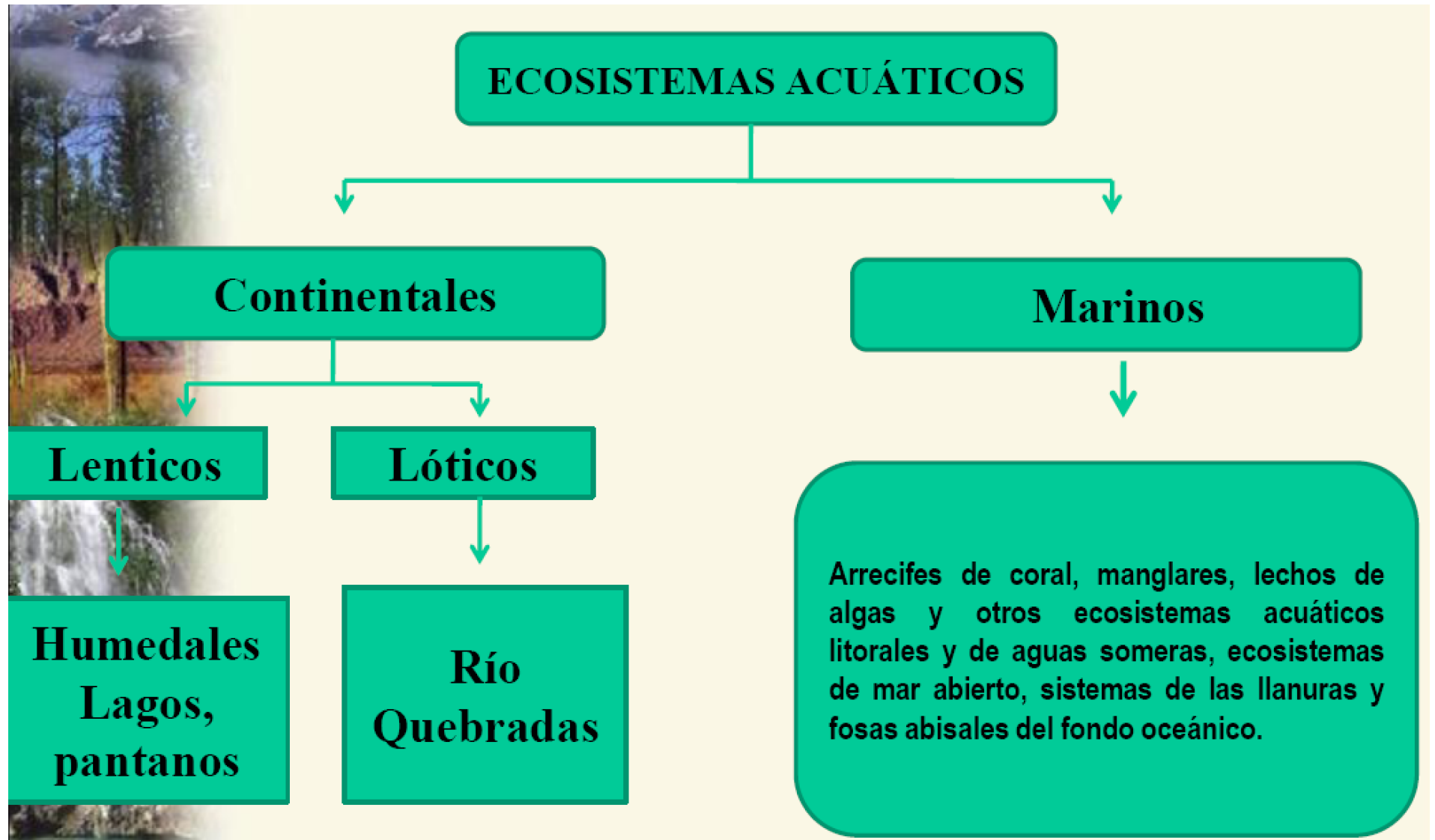
El humedal es un ecosistema intermedio entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semihúmedas y secas, caracterizado por la presencia de flora y fauna muy singular.

Los humedales son uno de los ecosistemas más amenazados del planeta

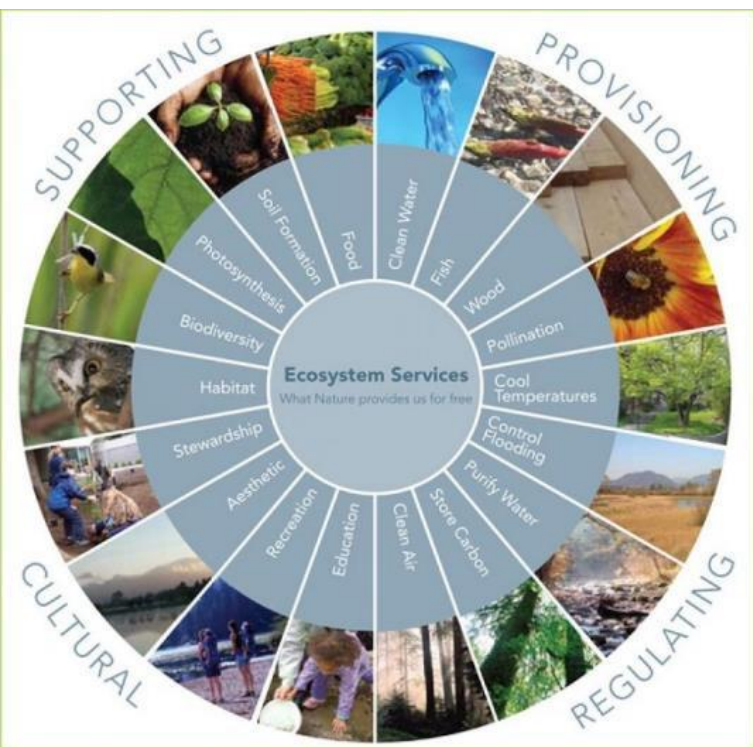


Nick C. Davidson (2014) How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research 65 934-941.

Ecosistemas acuáticos



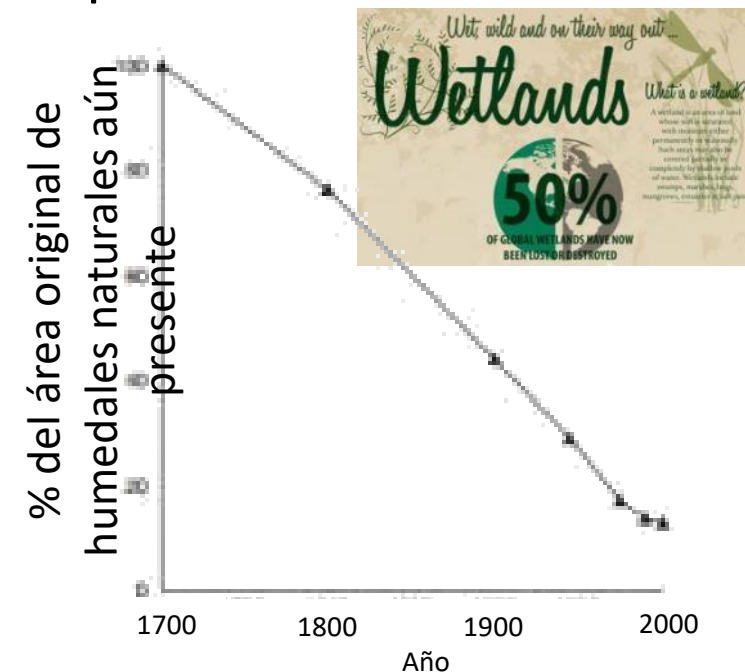
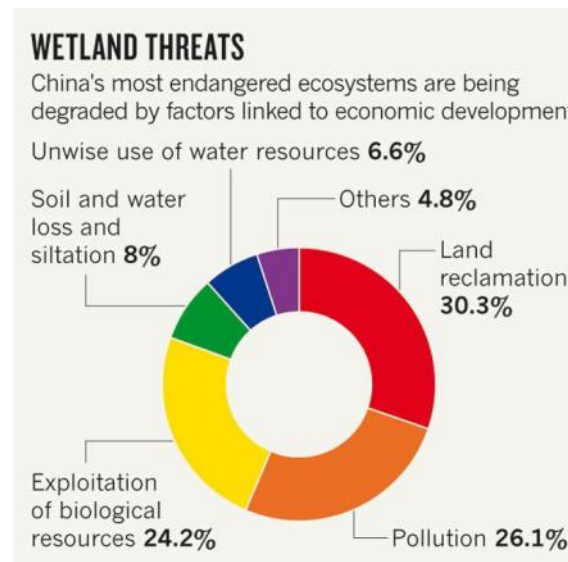
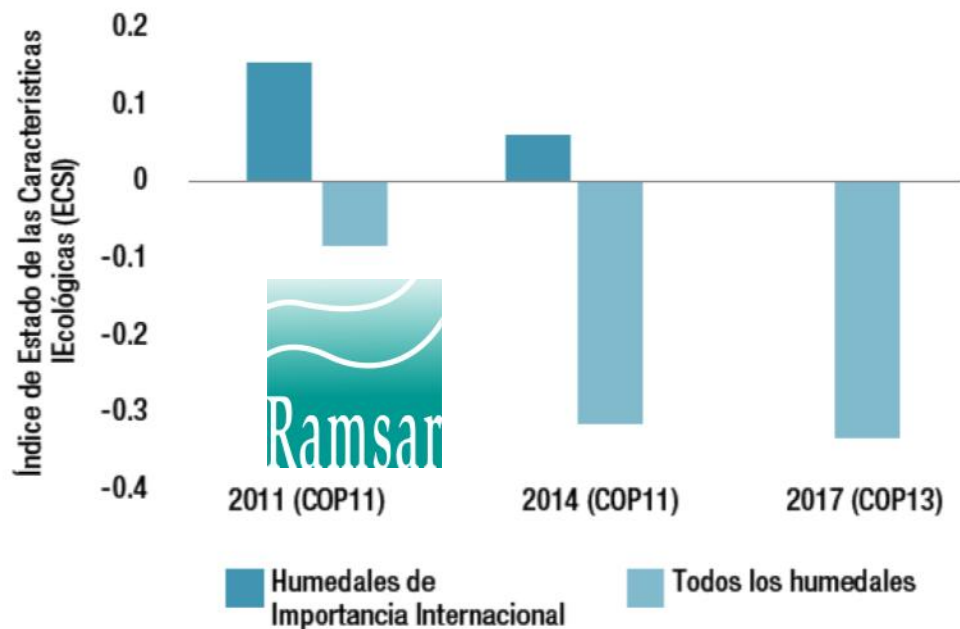
Servicios ecosistémicos de los humedales



Suministro de servicios	Regulación de servicios	Servicios culturales
<p>Productos obtenidos de los ecosistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Alimento •Agua potable •Combustible •Fibra vegetal •Bioquímicos •Recursos genéticos 	<p>Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Regulación del clima •Control de enfermedades •Regulación del agua •Purificación del agua •Polinización 	<p>Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Espirituales y religiosos •Recreación y turismo •Estético •Inspiración •Educativo •Sentido de identidad •Patrimonio cultural
<p style="text-align: center;">Servicios de soporte:</p> <p>Servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios del ecosistema</p> <p>-Formación de suelos - Ciclado de nutrientes - Producción primaria</p>		

Pérdida global de humedales

La tasa de pérdida de humedales en el planeta es superior al 50%



- Pérdida de humedales desde 1900 = 54–57% Pero llega al 87% desde 1700.
- Tasa de pérdida 3.7 veces más rápida durante el siglo 20-21: 64–71% desde 1900.
- Mayor para humedales continentales que para humedales costeros

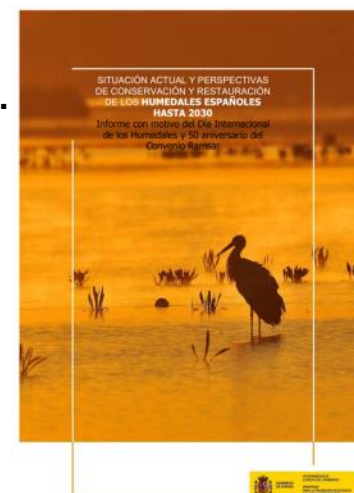
Nick C. Davidson (2014) How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research* 65 934-941.

Humedales en España

Cambio en la superficie humedales desde s. XIX hasta 1990
(Casado et al. 2002)

Tipo	Superficie (ha)		Variación (%)
	Hacia 1800	En 1990	
Montaña	2.314	2.386	+ 3,11
Kársticos	874	784	- 10,30
Interiores no salinos	14.802	4.805	- 67,54
Interiores salinos	6.743	5.212	- 22,70
Llanuras inundación	15.867	3.234	- 79,62
Costeros	239.628	97.629	- 59,24
Total	280.228	114.100	- 59,28

- El 12% de los sitios está bien conservado.
- El 15% está en un estado moderado.
- El 24% está en un estado pobre.
- El 30% está en un estado muy pobre.
- El 19% está en evaluación.



IEZH
MITECO

Retos en la gestión de humedales

Dificultad de predecir las respuestas del sistema - intervenciones humanas:

Complejidad + Incertidumbre

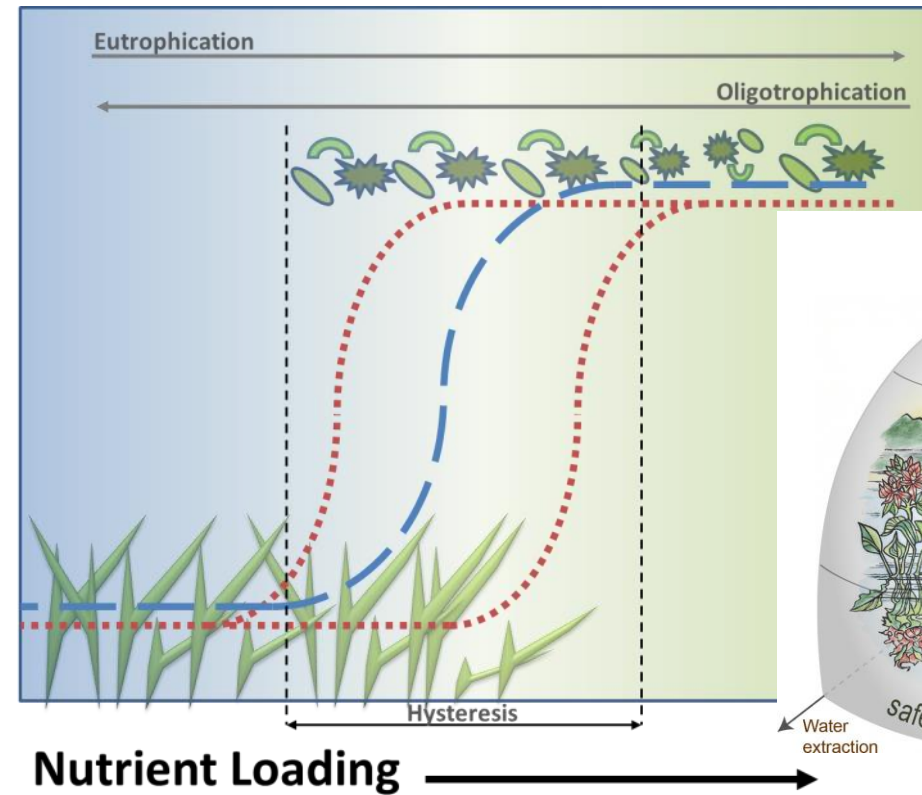
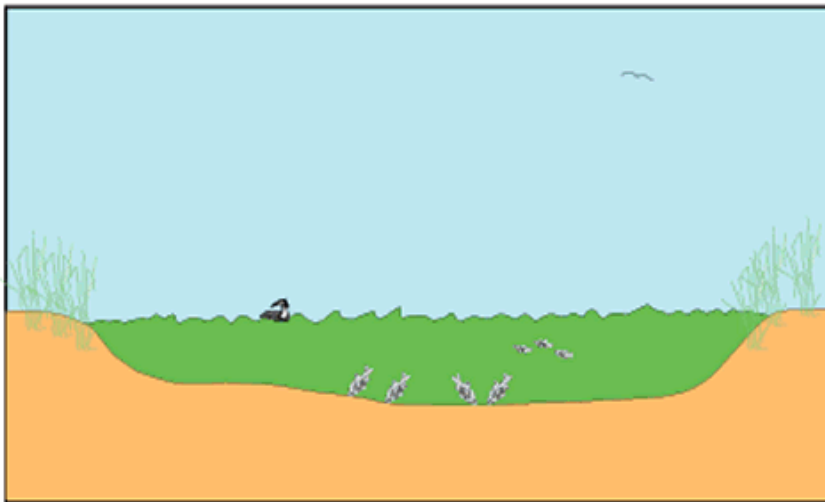
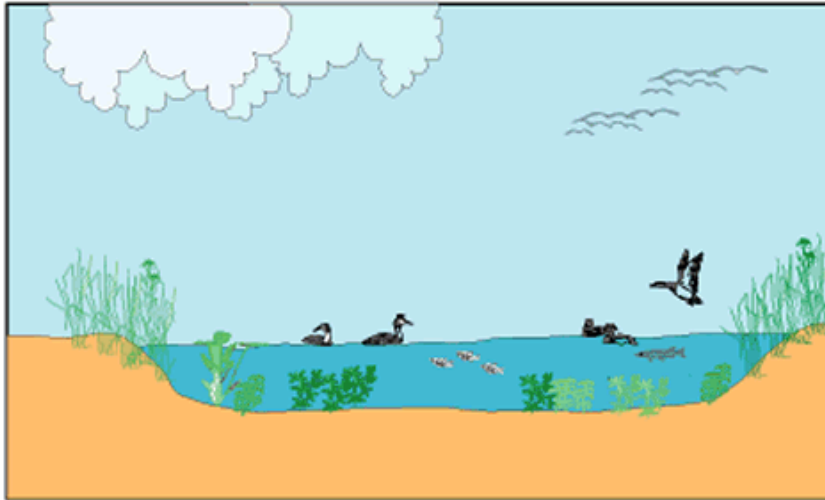
- **Eutrofización** → estados de emergencia alternativos → importancia clave de la vegetación acuática, turbidez y el régimen de inundación
- **Sobrepastoreo** → grandes variaciones en la capacidad de carga asociada a la variabilidad en las precipitaciones e inundación → dependencia histórica de los efectos y predicciones
- **Amenazas a escala de cuenca** → cambios de usos, embalses, extracciones, vertidos...

Necesidad de observación continuada



Estados de equilibrio de humedales

Janssen et al. Research Summary: Alternative Stable States In Large Shallow Lakes
<http://www.lakescientist.com/research-summary-alternative-stable-states-in-large-shallow-lakes/>



Green et al. 2017. Front Ecol Environ; doi:10.1002/fee.1459

Intereses y retos en el seguimiento de humedales

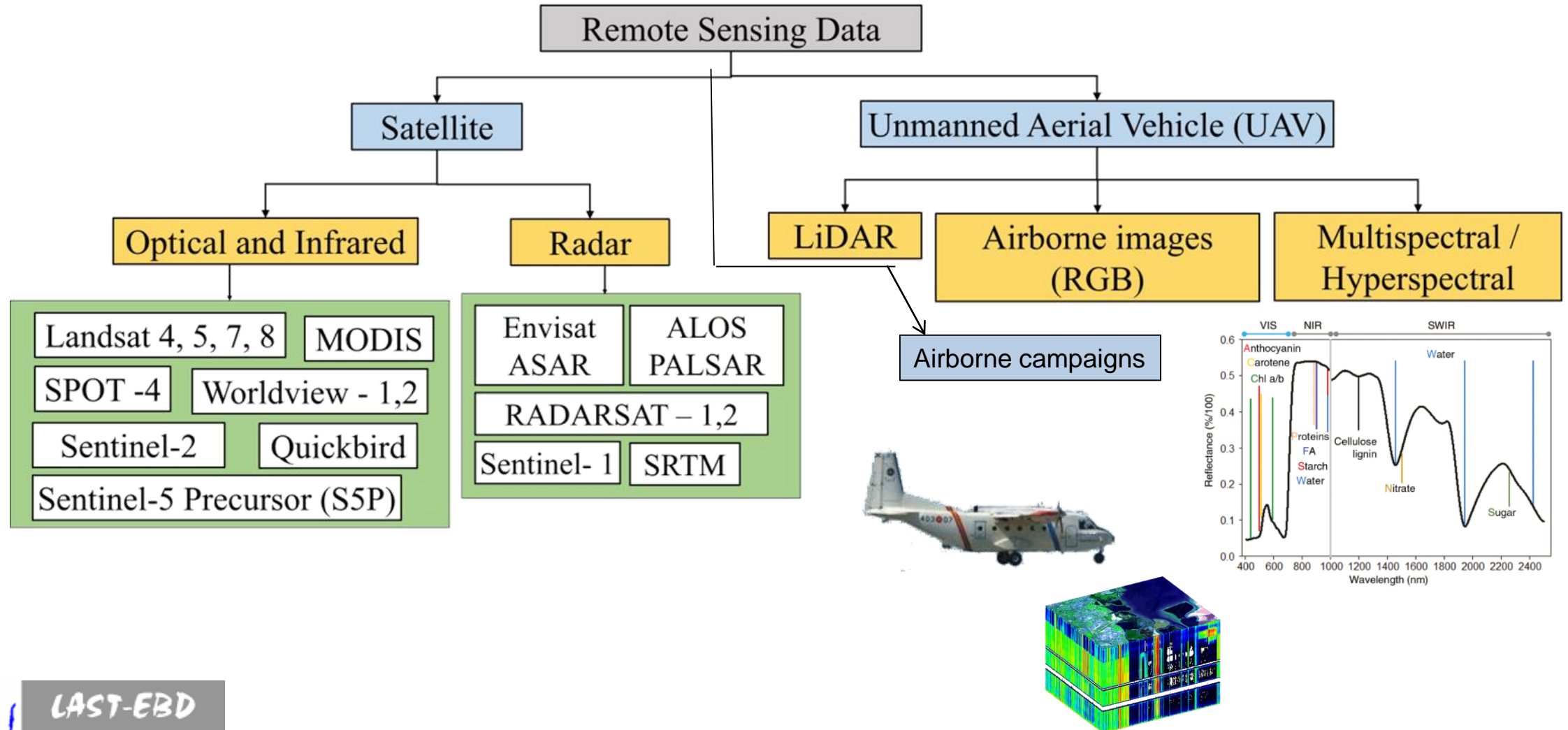
Interés por cartografiar:

- Hidrología de humedales (estacionalidad, hidroperiodo)
- Vegetación acuática (emergentes, flotantes, sumergidas, invasoras)
- Calidad del agua (eutrofización, turbidez, etc.)
- Funcionalidad y servicios ecosistémicos

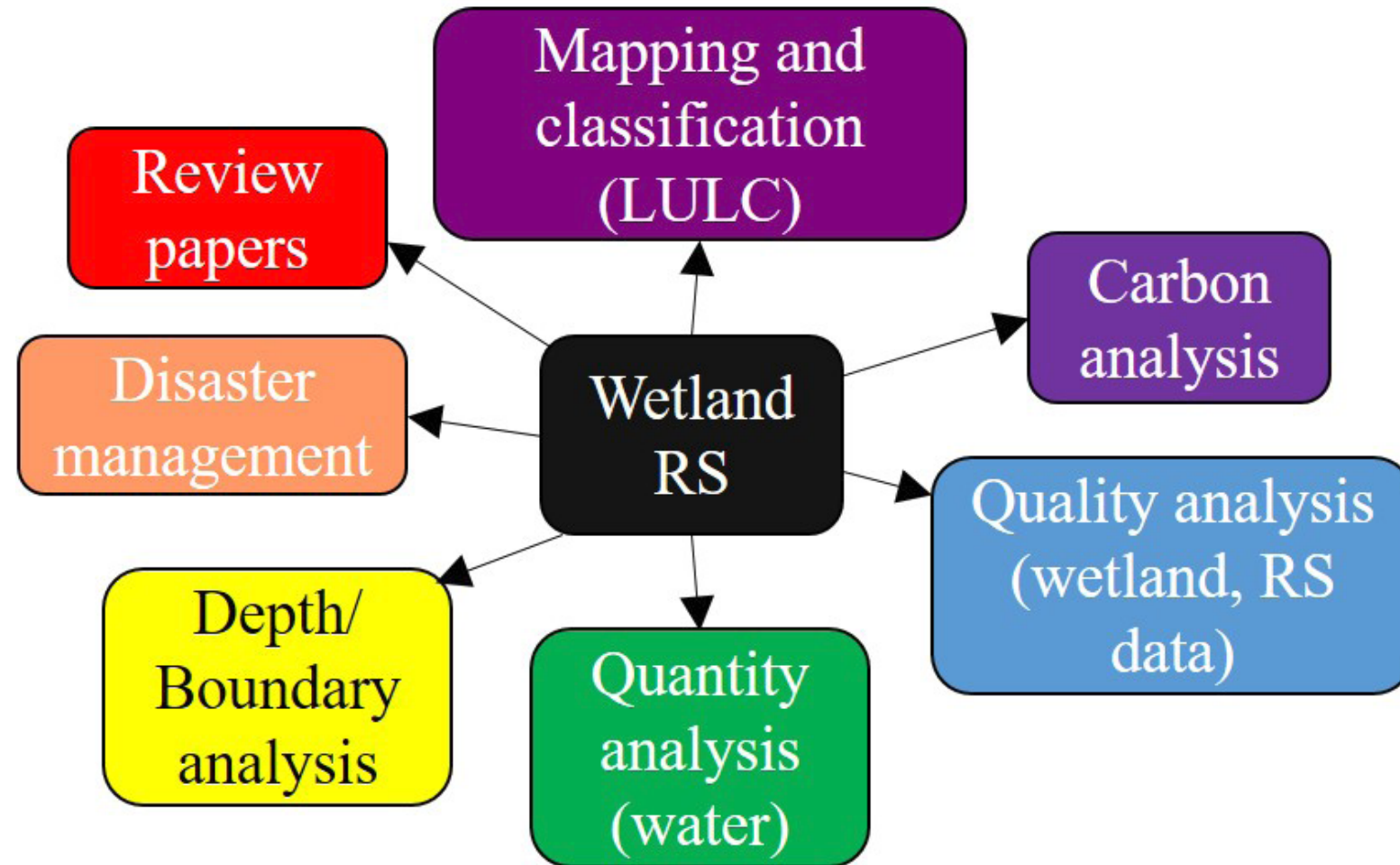
Retos

- Extensión de los humedales (tamaño, porcentaje por superficie, complejidad, imágenes disponibles)

Uso de imágenes de TD para humedales



Aplicaciones típicas TD humedales



Índices espectrales habitualmente usados

Normalised difference water index (NDWI)

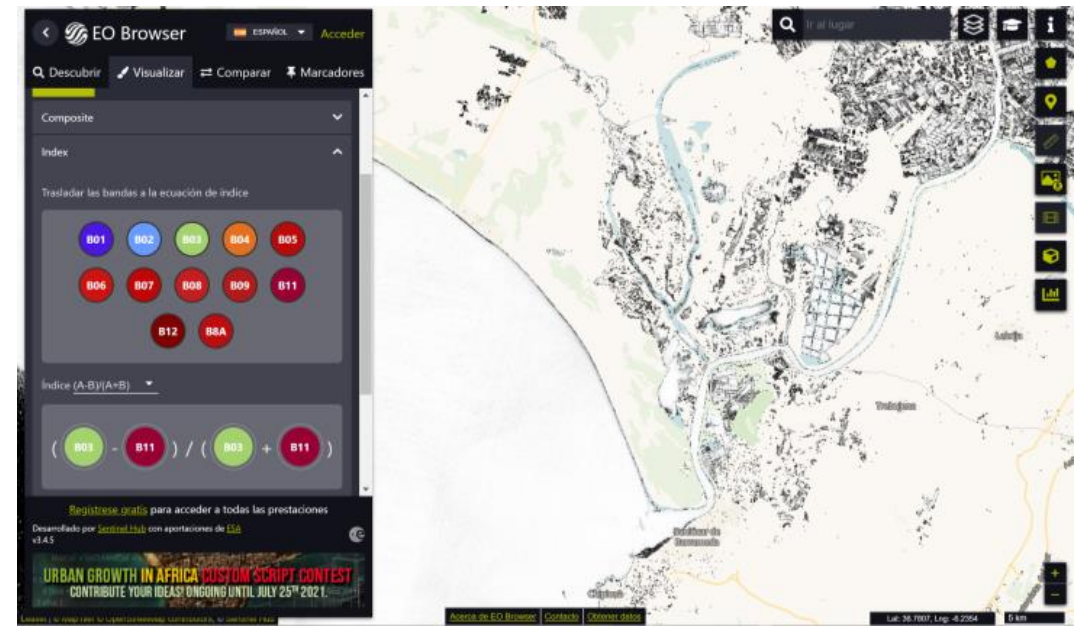
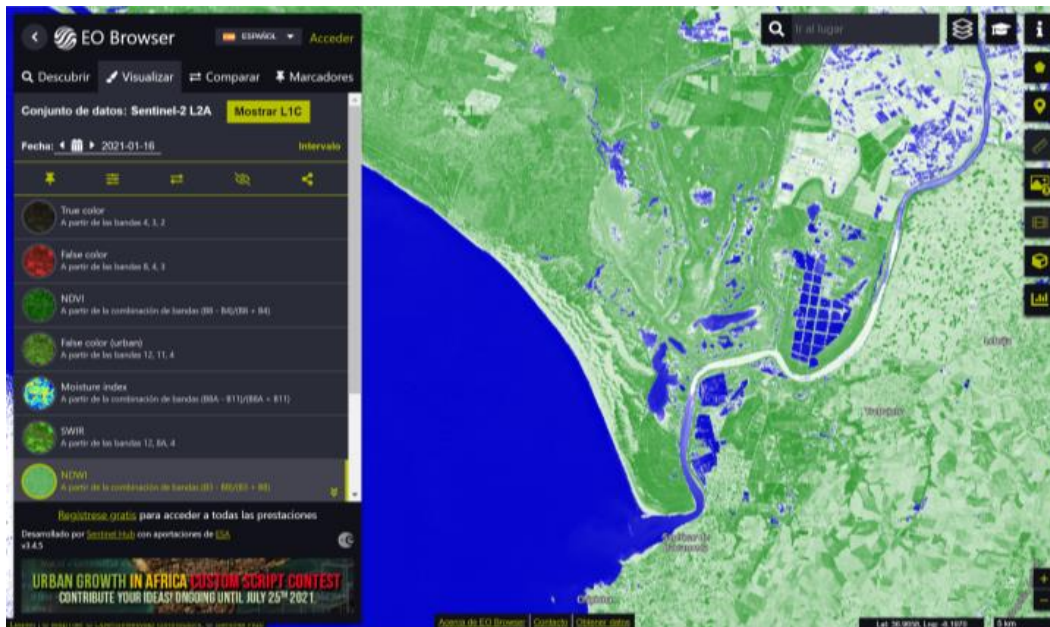
$$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

NDWI 2

$$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Modified NDWI

$$\frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$



Productos Copernicus para humedales



Global Land
Operations

Water Bodies extent– 100m and 300m monthly products based on S2 data

MONTHLY!!



- **Global, monthly product**
- Method : Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI): Green (B3, 10m) and (B11, 20m) bands **Sentinel2-MSI**. Only processed in GSWE maximum extent pixels
- **Available in less than 5 days** after the end of the month
- Quality assessment report being finalised by the producers, omission and commission errors soon available.
- Format : netcdf

2 Variables in dataset :

- Water bodies detection layer (WB). Differentiate sea and continental waters
- The quality layer (QUAL). Details the water occurrence during the month or the reason why there is no data (clouds, no input data ...)

Proposed Evolution roadmap :

- Integration of updated GSWE map
- Connexion with Surfwater project (CNES) : S2 as well as S1 SAR data.

Documentation + link to free data access:

<https://land.copernicus.eu/global/products/wb>

Productos Copernicus para humedales



Global Land Operations

Lakes and Rivers Water Level– Overview

Lake (+ réservoirs) and Rivers Water Level Global

- **Water Level Time series + associated uncertainty.**
- Method : altimetry data

One file per station / lake Jason2&3, Sentinel-3A&B data

- **Daily production.** Updated each time a satellite passes over target **within ~1.5 days**

time series over rivers :

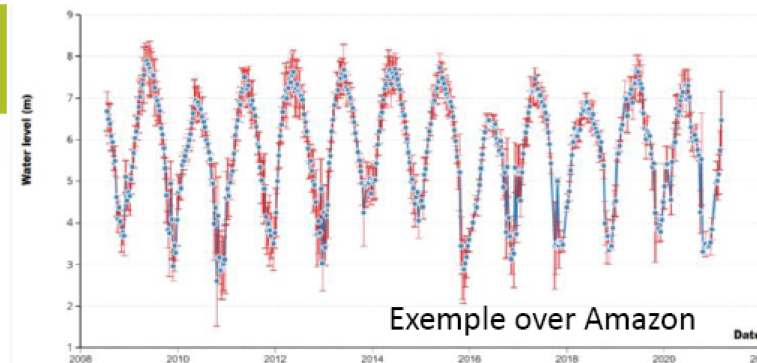
- Jason stations : available from January 2008 → present day
- Sentinel3A stations : available from 2016 -> present day
- Sentinel3B stations : available from 2019 -> present day

- time series over lakes : as far as 1992 (Topex Poseidon) to present day

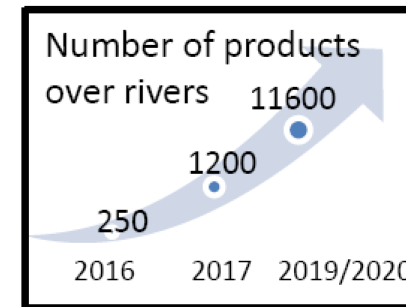
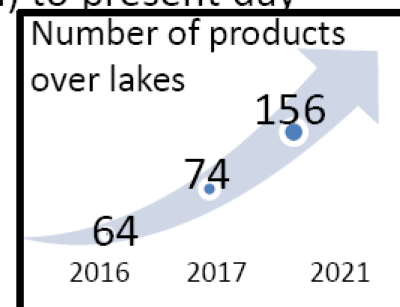
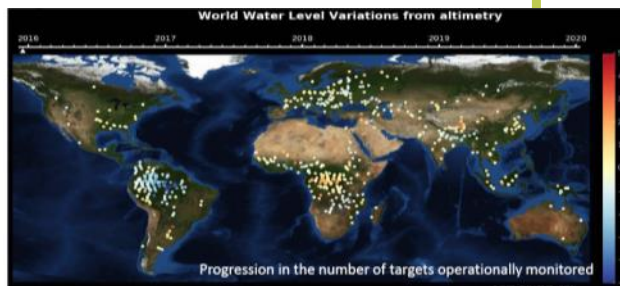
- **Accuracy : 10cm over lakes, 15cm over rivers**
- Format : Geojson

Documentation + link to free data access:

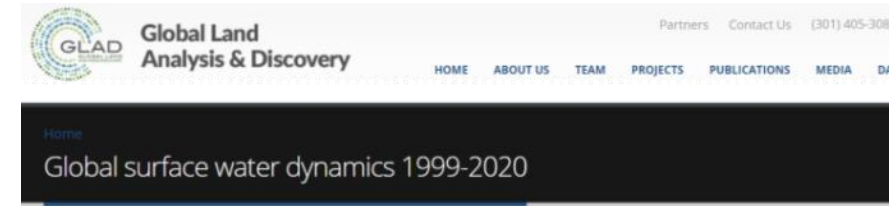
<https://land.copernicus.eu/global/products/wl>



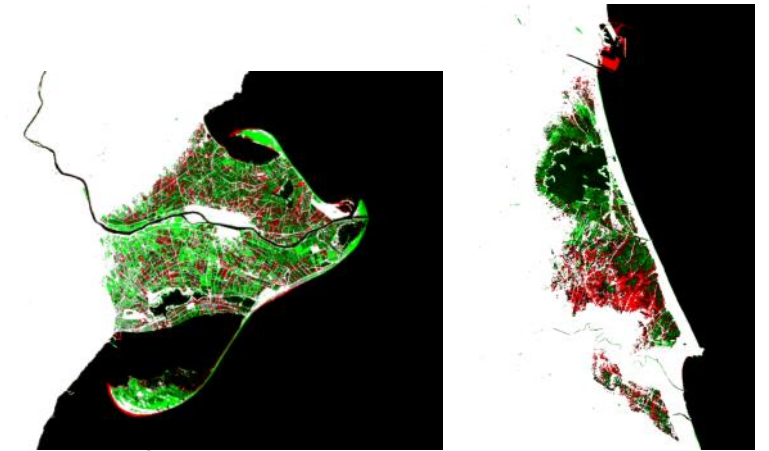
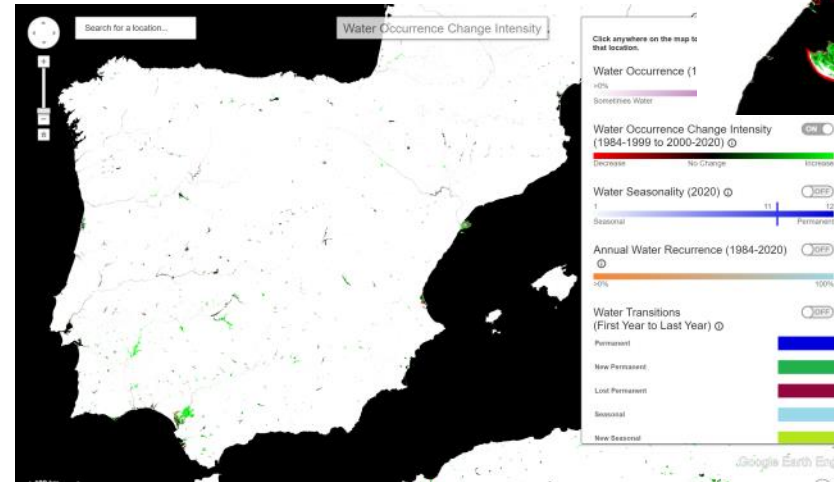
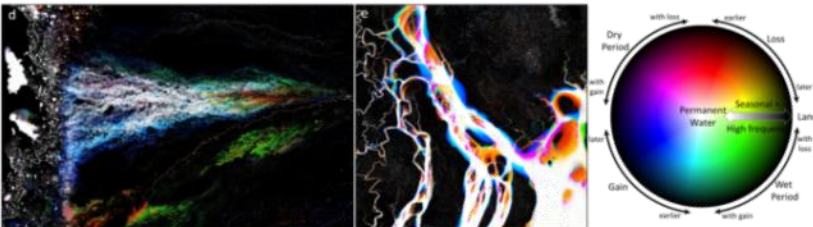
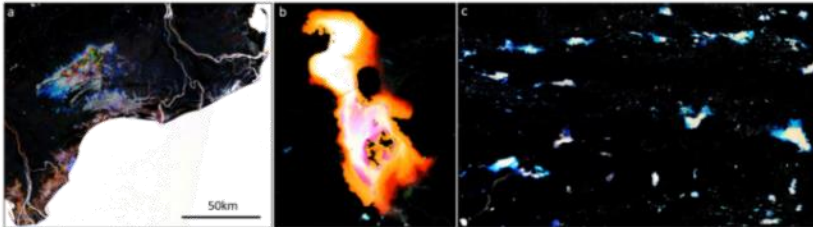
ONLY LARGE LAKES!!



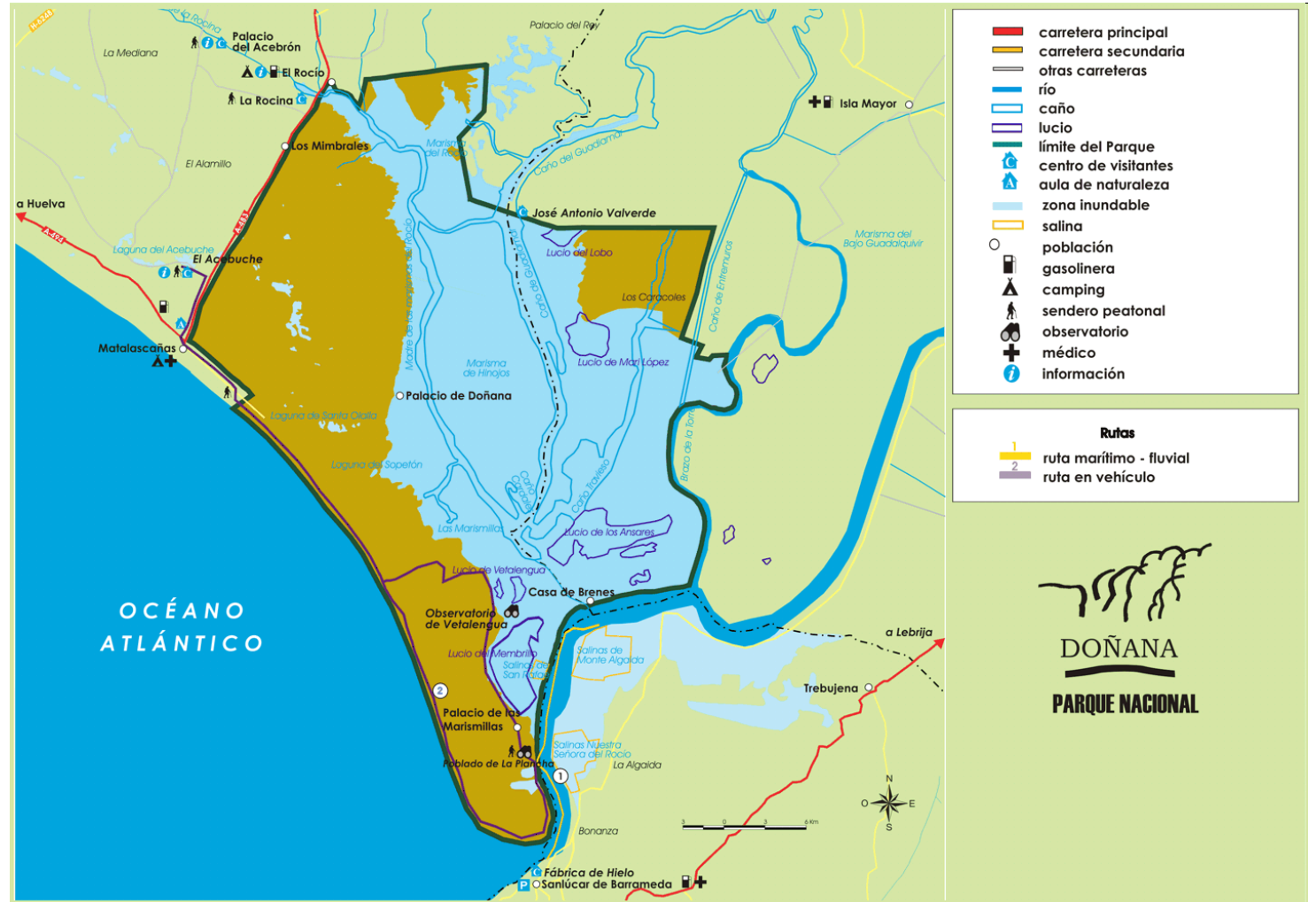
Otros productos de TD para humedales



Global surface water dynamics 1999-2020

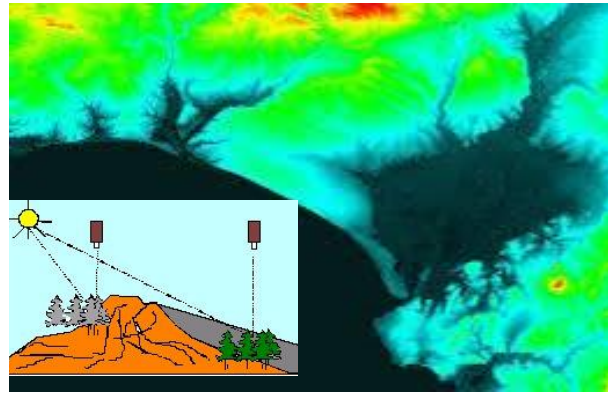


Los humedales de Doñana: la marisma



Las cosas son un poco más complicadas en los humedales temporales, típicos de las regiones mediterráneas y semiáridas

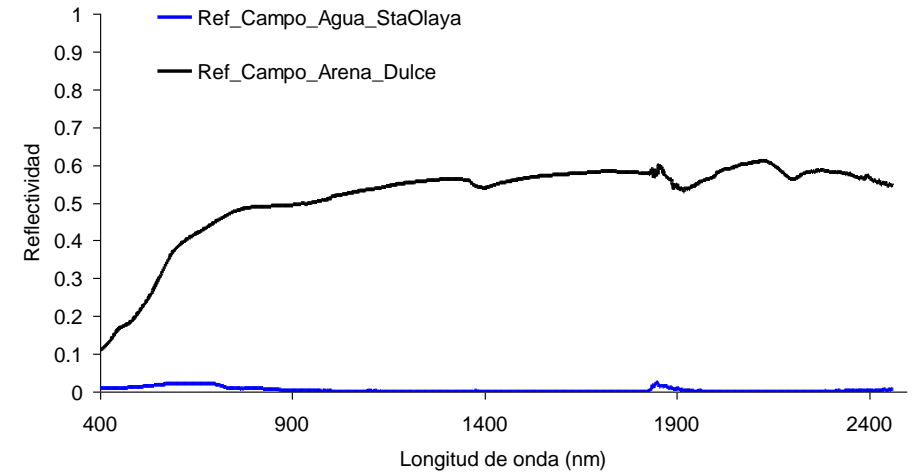
Doñana: sitio propicio para la TD en el óptico



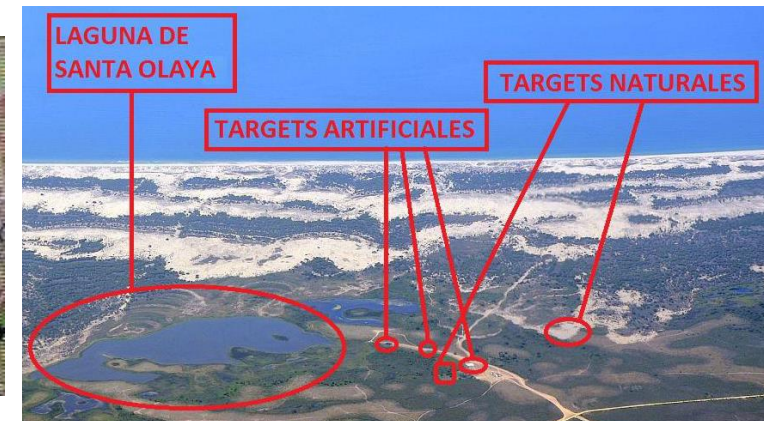
Relieve escaso
Rango Altitudinal
END=20 m



Baja cobertura nubosa
(<60 días al año)

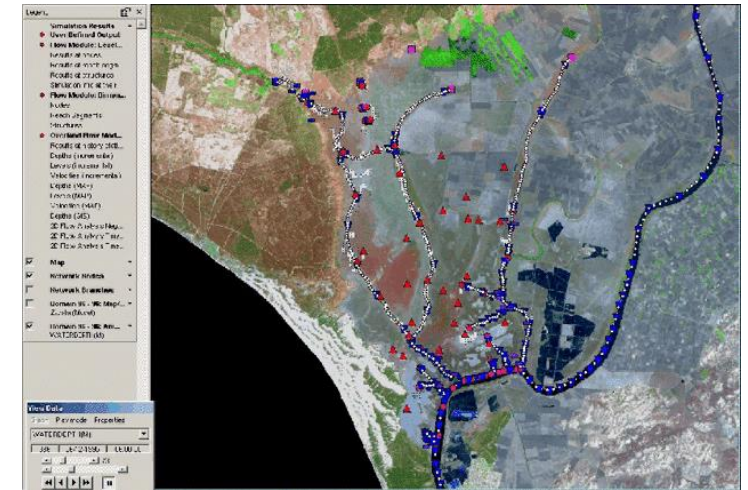
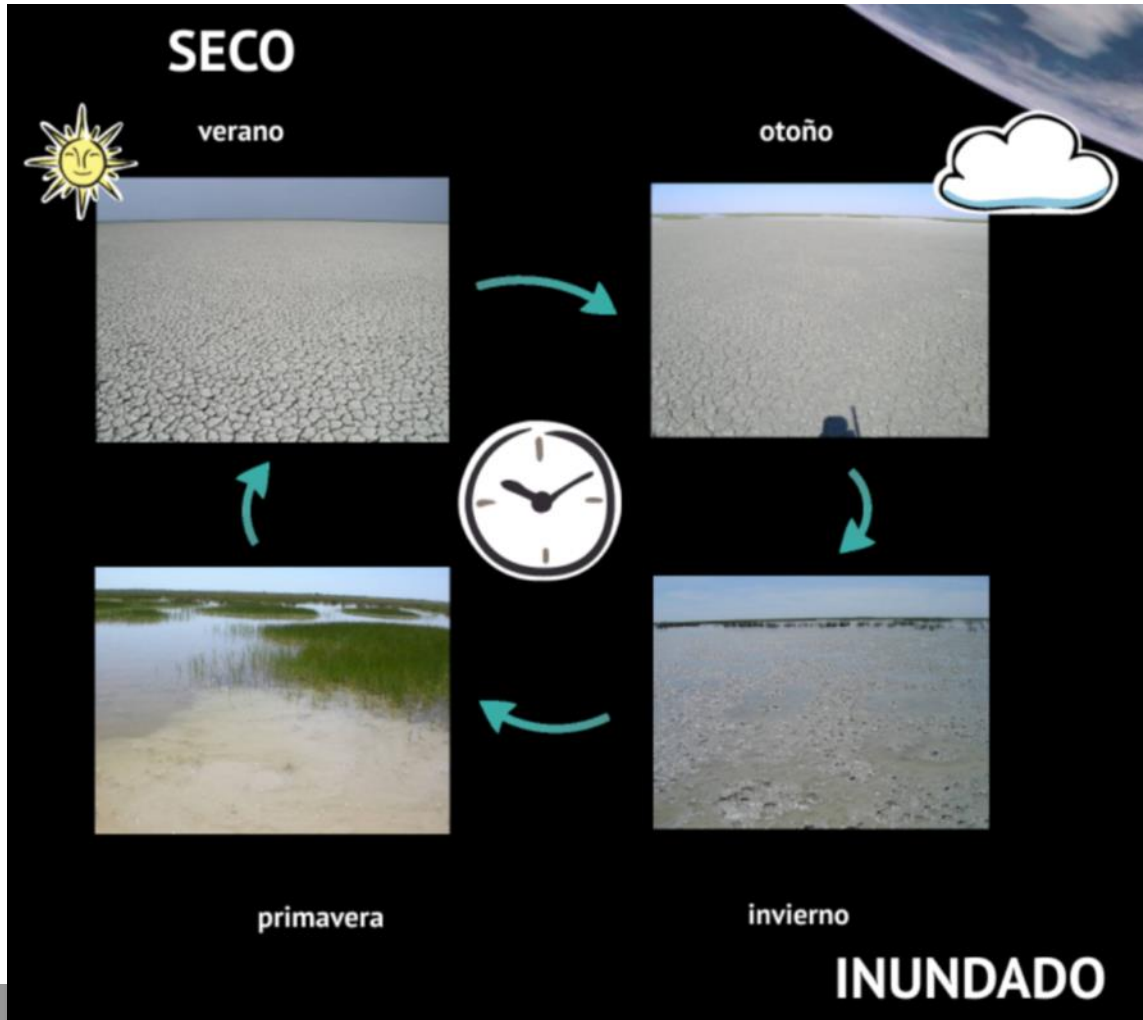


Caso de
Landsat 7

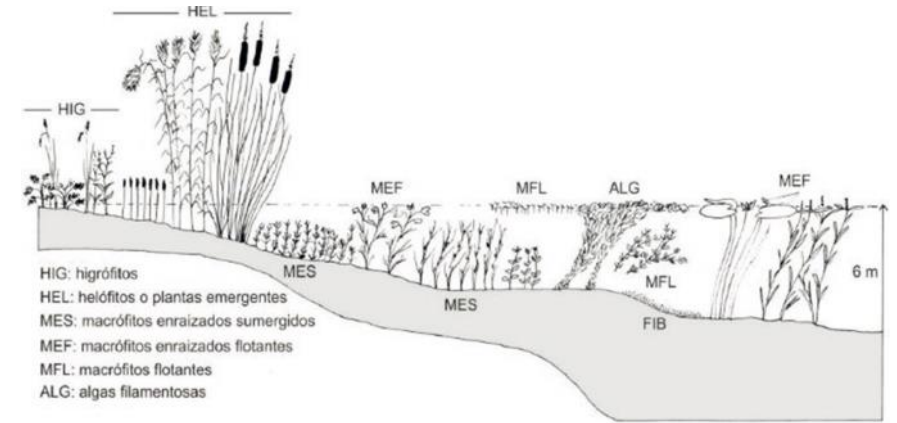
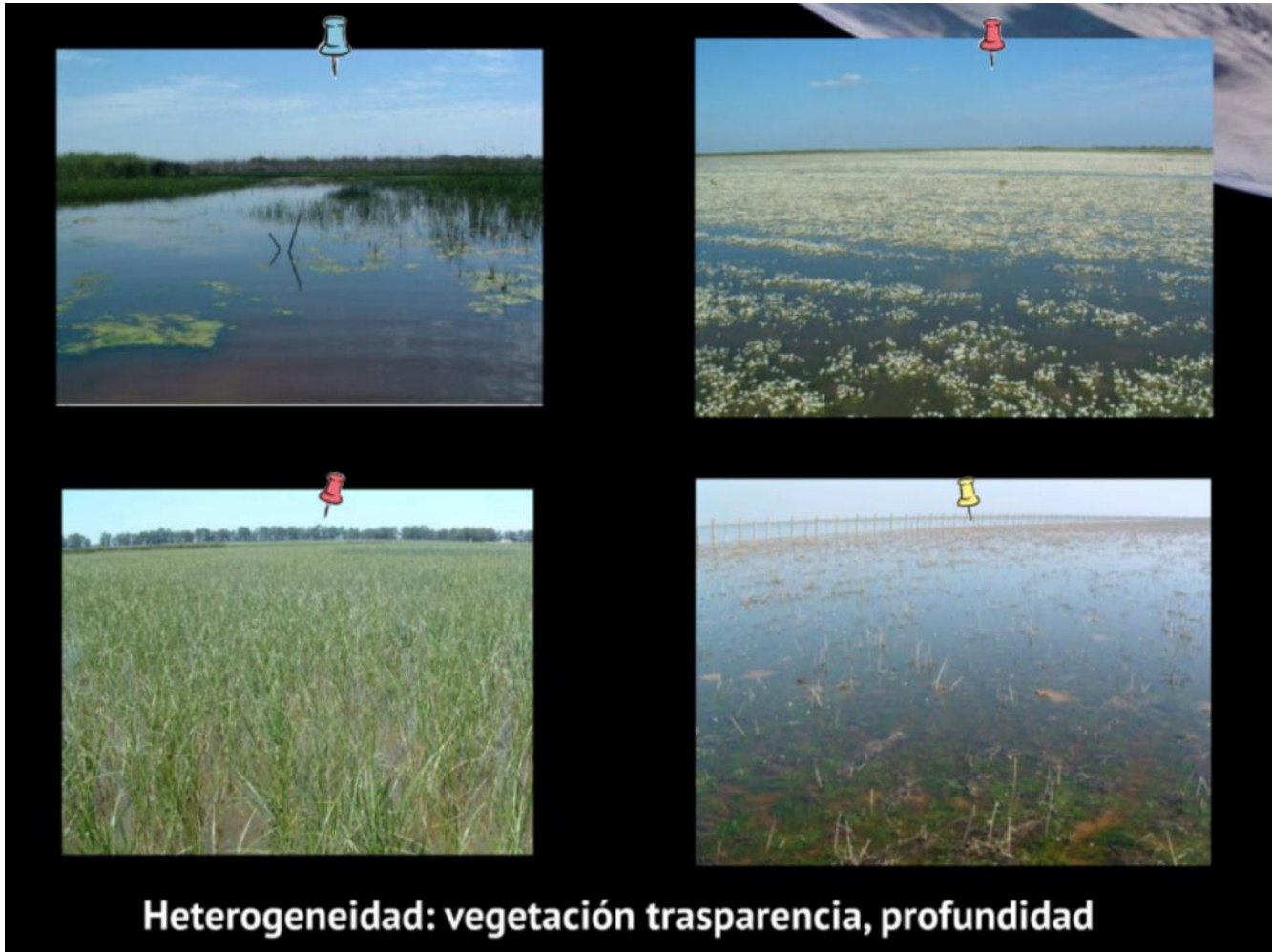


Alto contraste radiométrico de sus
cubiertas

Temporalidad de la marisma de Doñana



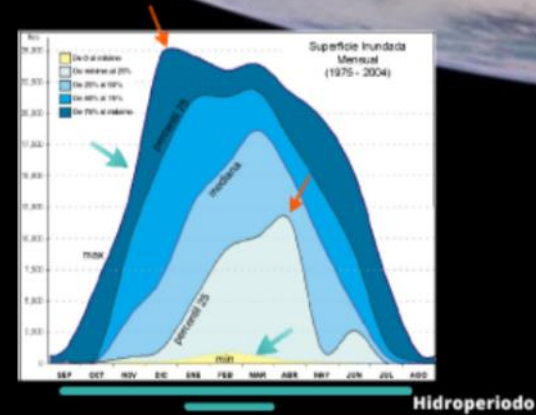
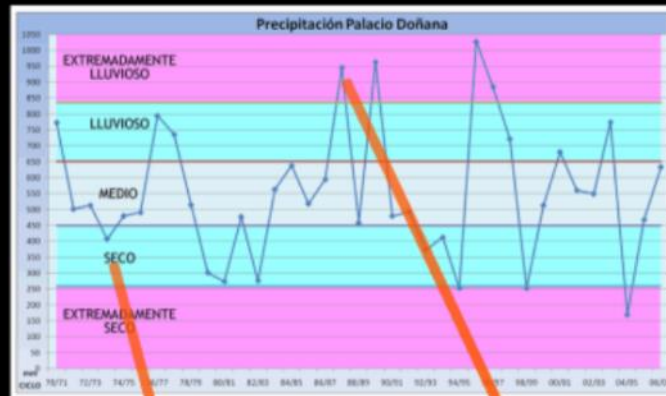
Complejidad de la marisma de Doñana



Presencia de Especies invasoras
(*Azolla filiculoides*)

Humedal Estacional: alta variabilidad

Precipitación variable



Superficie inundada

= Inundación variable



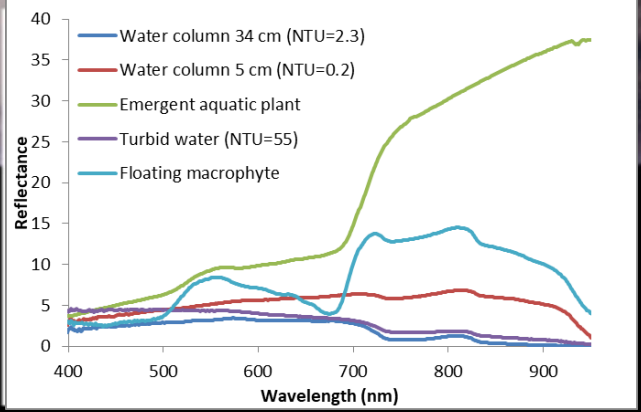
16 enero 1976




12 febrero 1989

Retos de cartografía de inundación

¿Cómo identificar las zonas inundadas en una marisma somera y con vegetación acuática?



Wavelength (nm)	Water column 34 cm (NTU=2.3)	Water column 5 cm (NTU=0.2)	Emergent aquatic plant	Turbid water (NTU=55)	Floating macrophyte
400	~3	~4	~4	~3	~4
500	~3	~4	~8	~3	~5
600	~3	~5	~10	~3	~7
700	~3	~5	~25	~3	~12
800	~3	~6	~35	~3	~14
900	~3	~5	~38	~3	~10



Landsat TM RGB 5,4,3

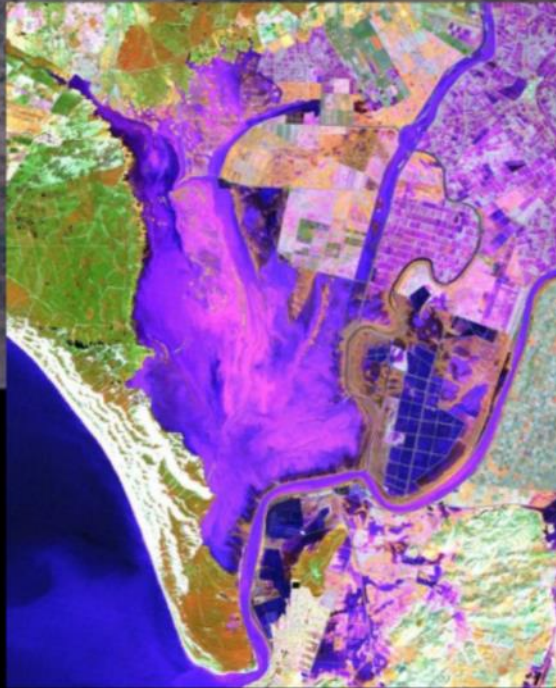
INUNDACIÓN

INDICES

- CEDEX = $(B4/B3) - (B4/B5)$
- NDWI = $(B2-B4) / (B2+B4)$
- Tasseled Cap Wetness index
- Bandas del infrarrojo (4,5, 7)



Retos de cartografía de inundación



Turbidez (T) = falta de transparencia

Causada por:

Sedimentos en suspensión
Crecimiento de fitoplancton

Se confunde espectralmente:

Cobertura de vegetación, profundidad de agua

La reflectividad del agua en el visible (VIS) aumenta con los sedimentos

Varios métodos en la literatura de teledetección

Turbidez -> Indicador de colmatación
Influye en el crecimiento de macrófitos

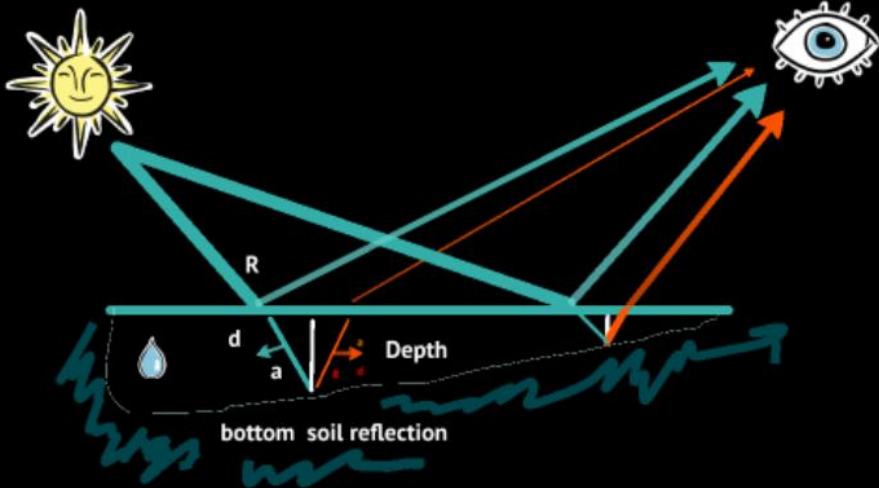
TURBIDEZ

LAST-EBD

LABORATORIO DE SIG Y TELEDETECCIÓN
ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA

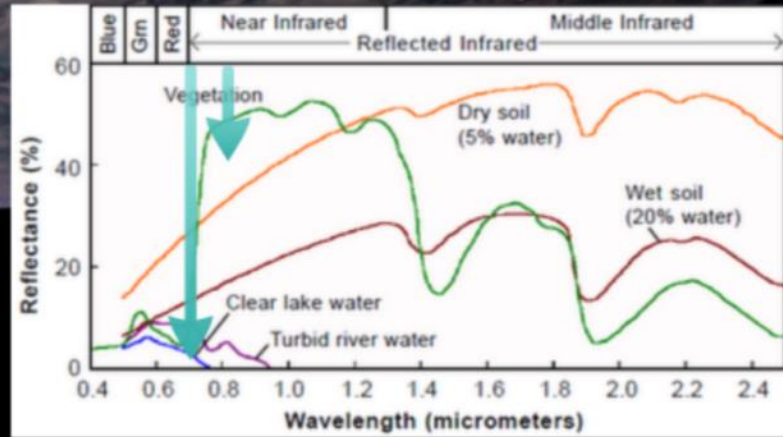
Retos de cartografía de inundación

- Pequeña variación en las marismas de Doñana (0 – 60 cm)
- Determina el hidropериодо, comunidades de vegetación, hábitat aves acuáticas
- Profundidad es indicativa de la colmatación



PROFUNDIDAD

Retos de cartografía de inundación



- NDVI podría ser un buen predictor de cobertura total. Pero ¿cómo distinguir tipos estructurales?



Emergente



Flotante



Sumergida

COBERTURA DE VEGETACIÓN

Método empírico de discriminación de inundación

VERDAD-TERRENO

Transectos lineares con GPS simultáneos con sobrevuelos de Landsat

Categoría de inundación, profundidad, turbidez, cobertura de vegetación acuática en puntos de muestreo separados 100 m

Categorías de inundación (radio de 15 m)



Categorías de inundación

Estimación visual

- Inundado > 75%
- Empapado 25-75%
- Húmedo < 25%
- Suelo seco (sin agua)




Categorías de inundación

- Modelos GLM ajustados por pasos
- Evaluar los índices propuestos (NDWI, CEDEX...)
- Seleccionar los mejores predictores
- Árbol de clasificación (CART) para identificar los límites de las categorías de inundación

Turbidez y profundidad de agua

- Modelos aditivos generalizados (GAM) y GLM
- Seleccionar predictores y mejor modelo



Cobertura de vegetación acuática

- Analisis de componentes principales seguido por GAMs por pasos

Categorías de inundación (árbol de regresión)

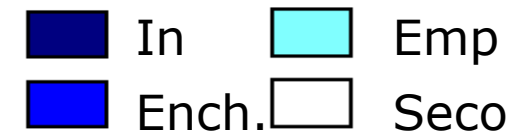
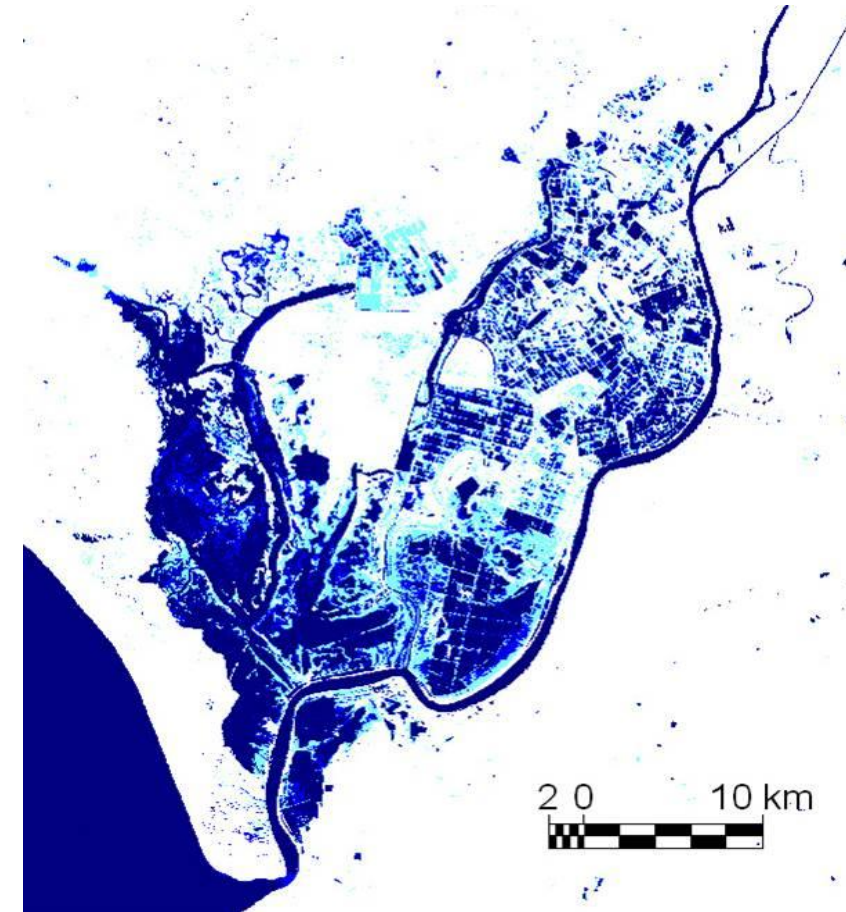
Categorías de inundación

Si las imágenes están normalizadas el modelo es un árbol de regresión usando la B5 de Landsat TM

Mejores resultados con las bandas del infrarrojo (B5, B7 y B4) que con índices (CEDEX, NDWI)



- Kappa = 0.63
- Acierto global 81.6%



remote sensing



Article

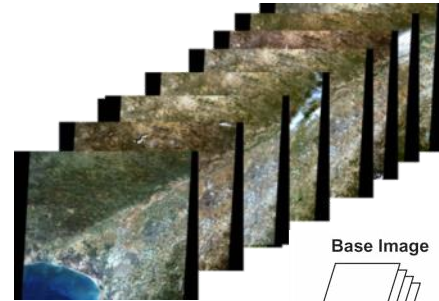
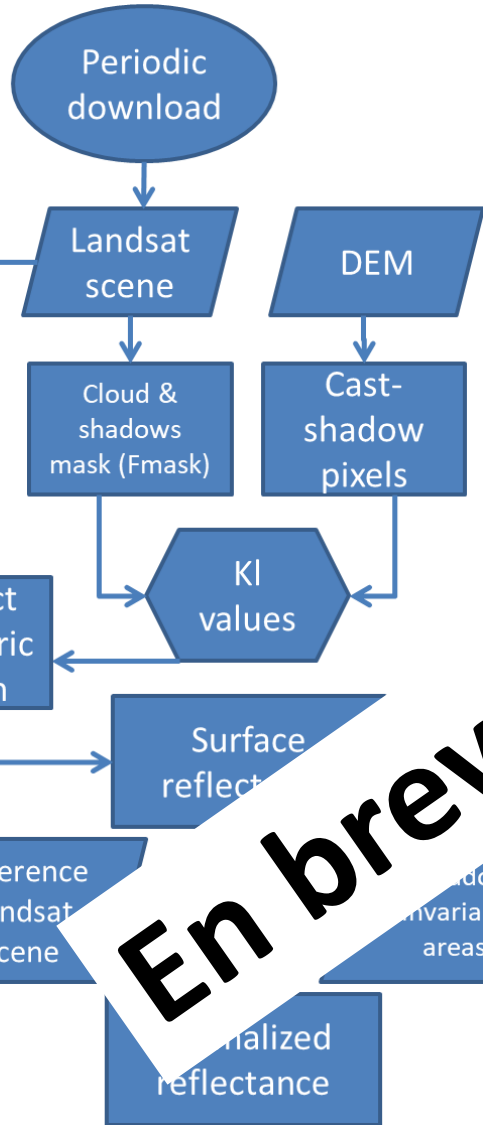
Long-Term Monitoring of the Flooding Regime and Hydroperiod of Doñana Marshes with Landsat Time Series (1974–2014)

Ricardo Díaz-Delgado ^{1,*}, David Aragonés ^{1,†}, Isabel Afán ^{1,†} and Javier Bustamante ^{1,2,†}

LAST-EBD

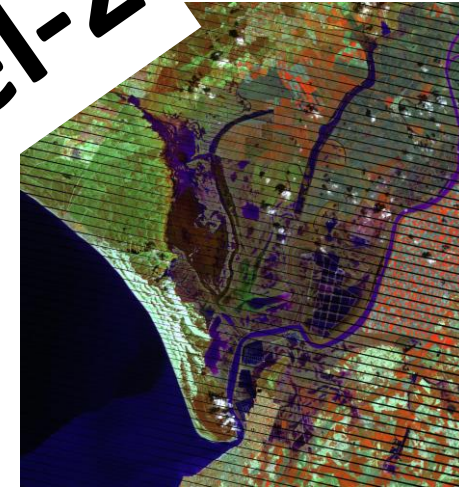
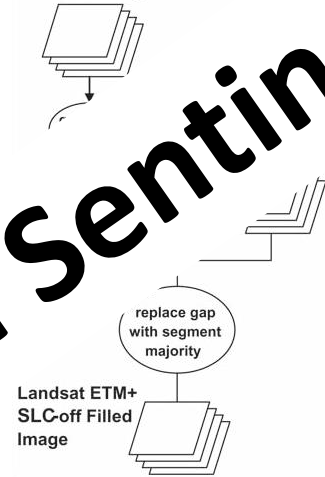
LABORATORIO DE SIG Y TELEDETECCIÓN
ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA

Automatización del tratamiento



> 500 images from 1975 to 2018 (MSS, TM, ETM & OLI)

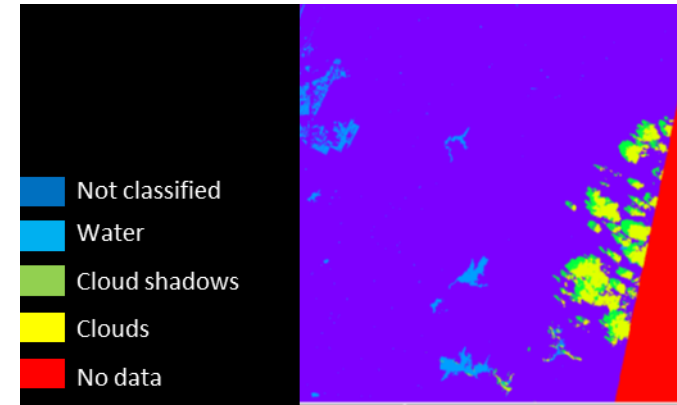
Base Image



Gapfilling of L7 SLC-Off (Maxwell 2004)

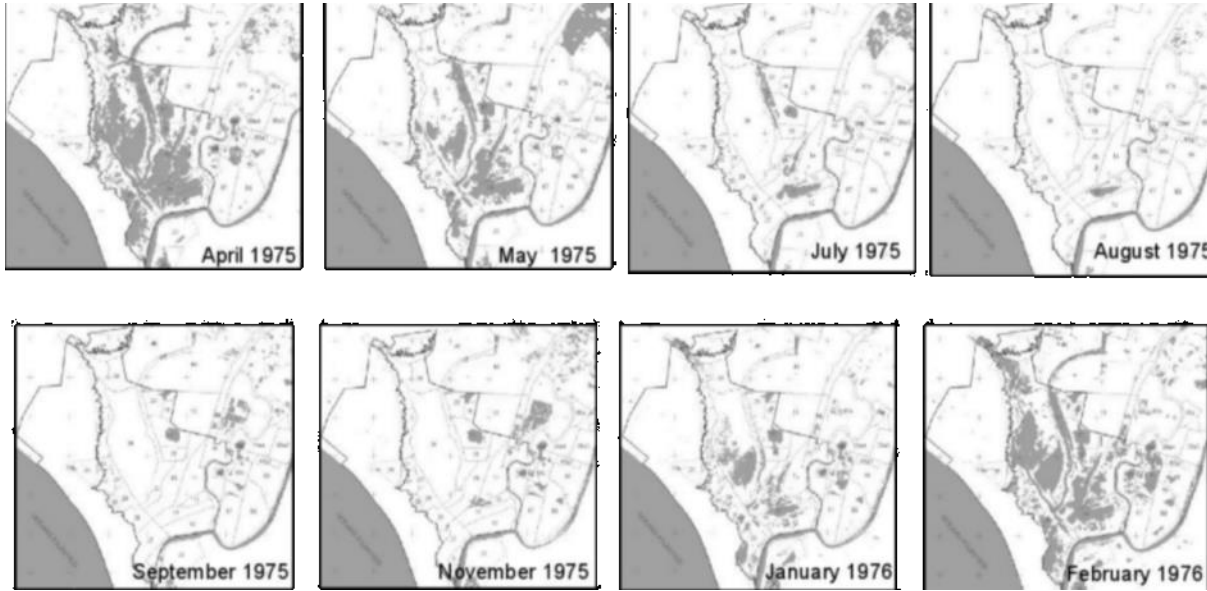
En breve con Sentinel-2

Fmask (Zhu et al. 2015)

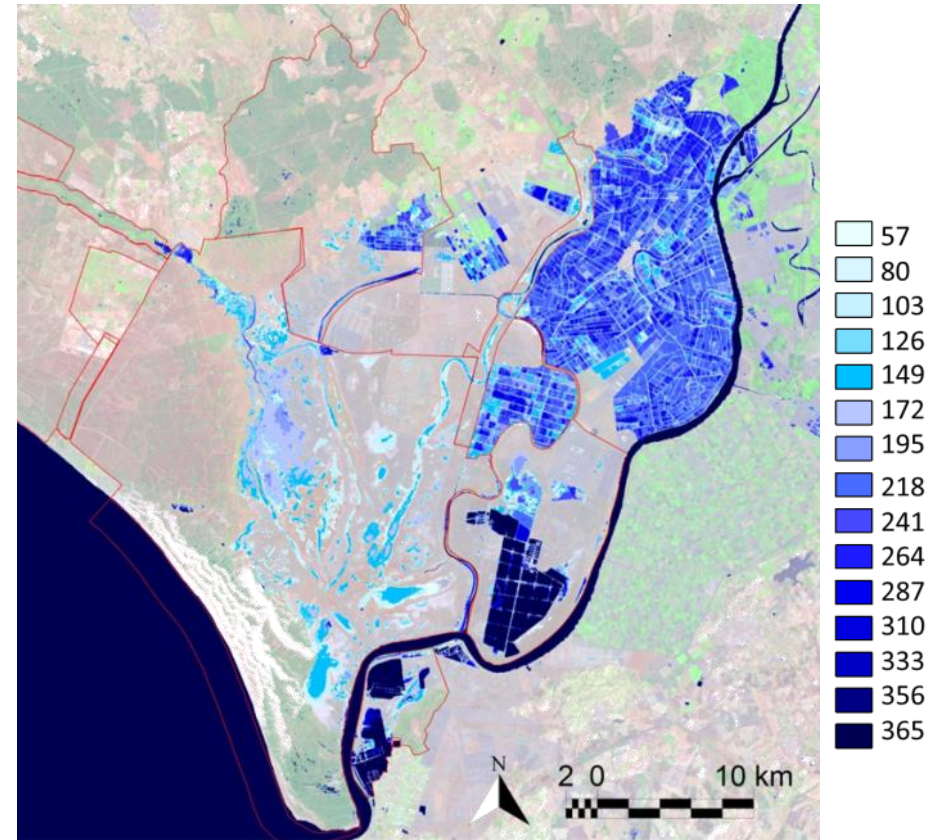


Computing time ~ 3' per scene

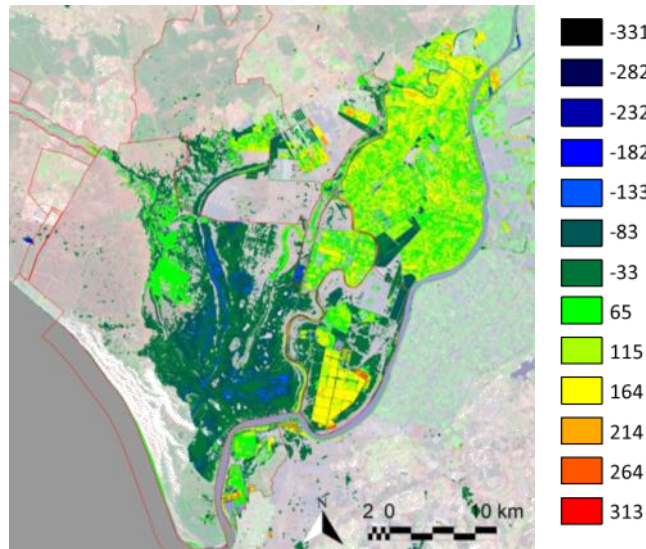
Reconstrucción histórica de inundación



Hidroperiodo 2019-2020 (nº días)

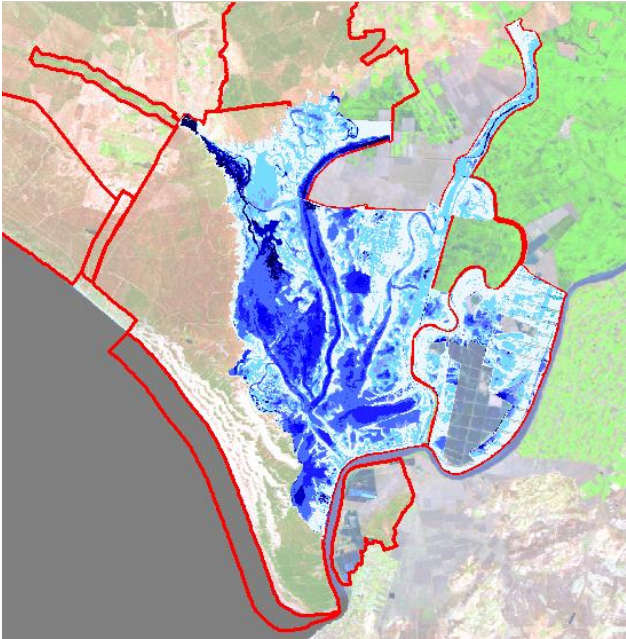


Anomalía del Hidroperiodo 2019-2020 (diferencia nº de días con respecto a la media 1974-2020)

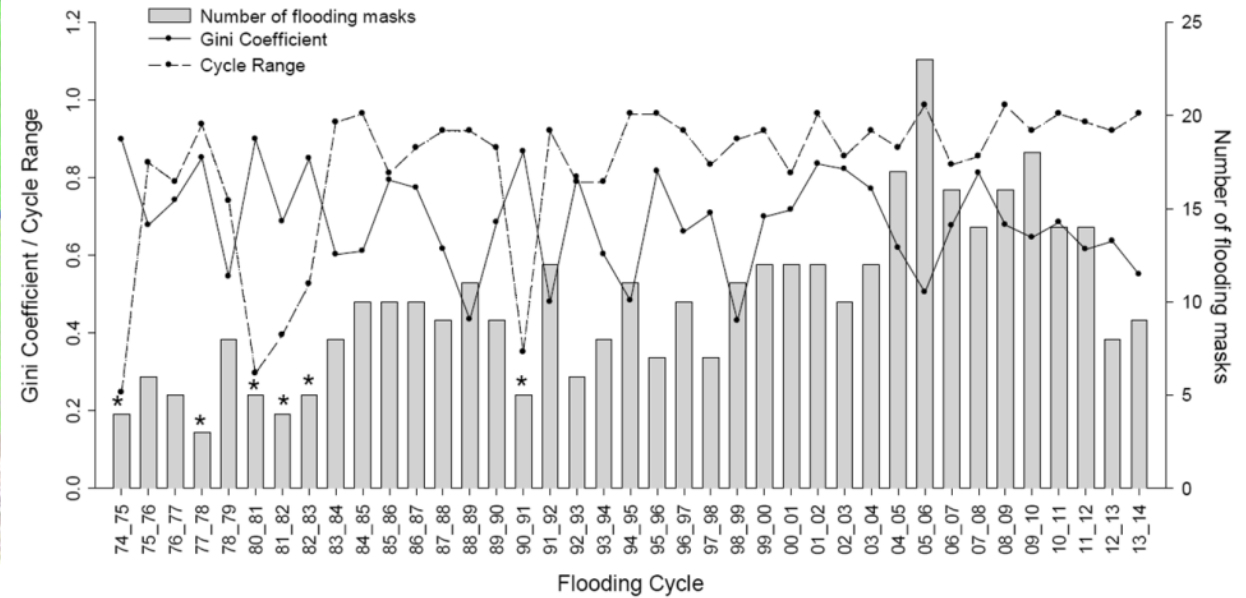
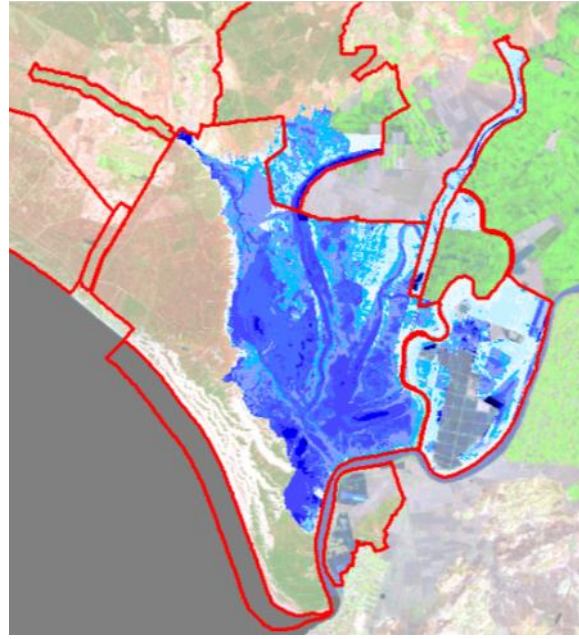


Hidroperiodo por ciclos de la marisma de Doñana

2008-2009 (476 mm)

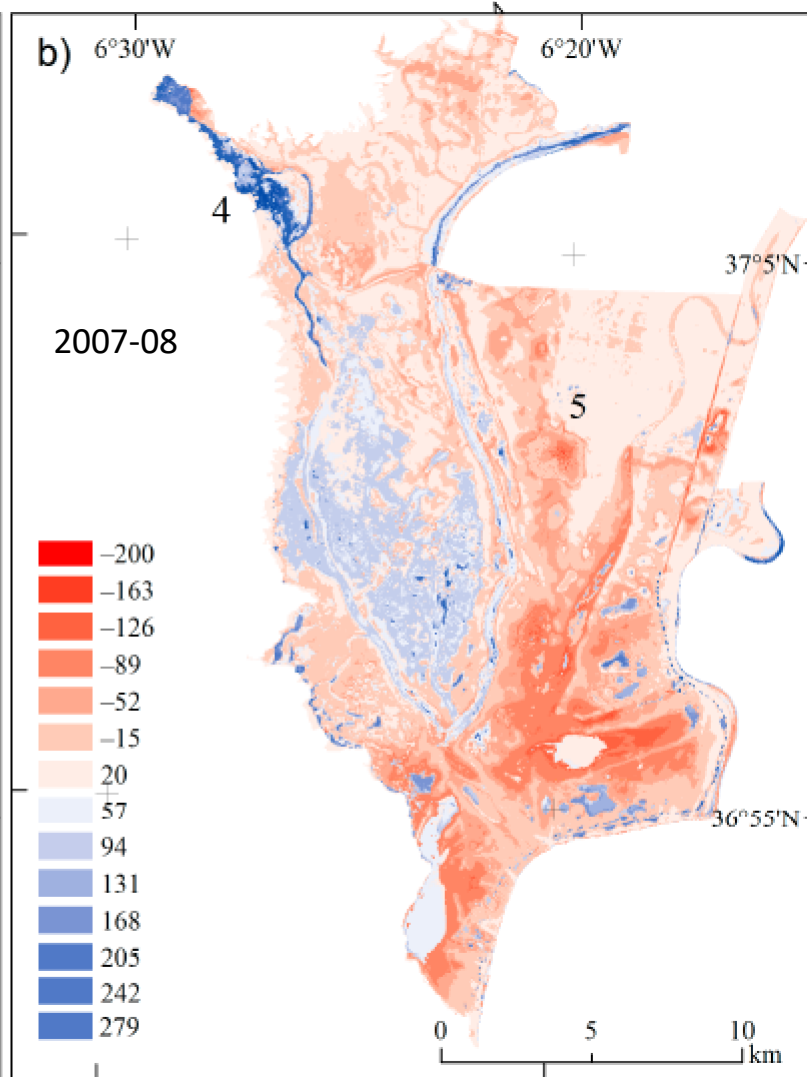
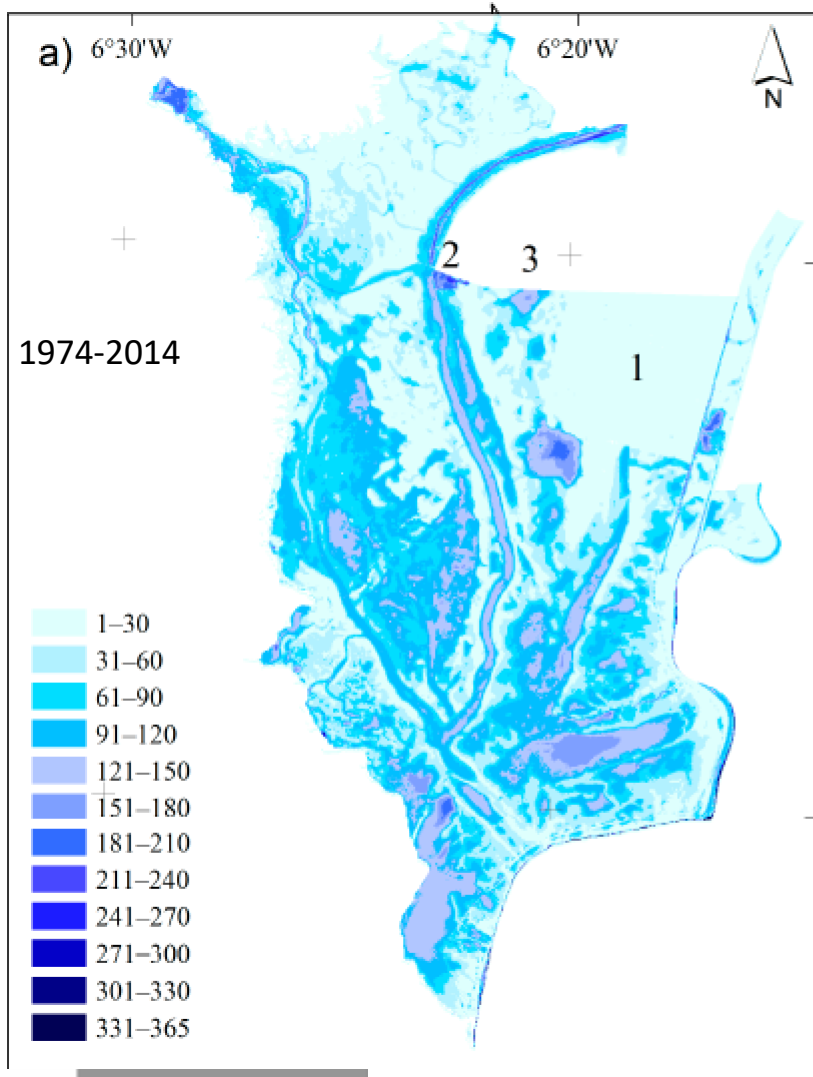


2009-2010 (546 mm)



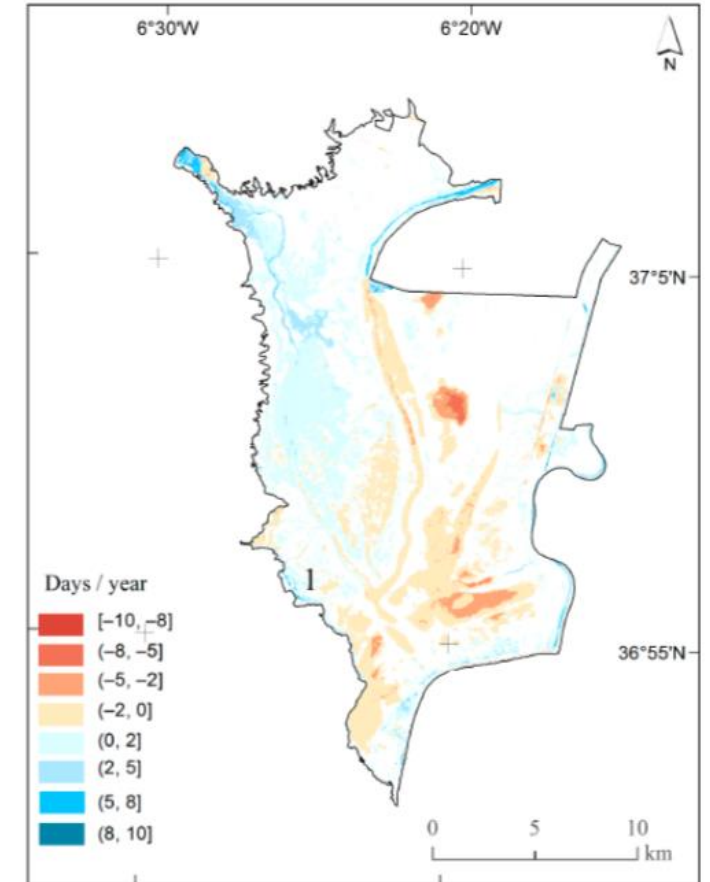
$$Hc = \sum_{i=1}^{n-1} (DoC_{i+1} - DoC_i) = (DoC_2 - DoC_1) + \dots + (DoC_n - DoC_{n-1})$$

Hidroperiodo medio, tendencias y anomalías

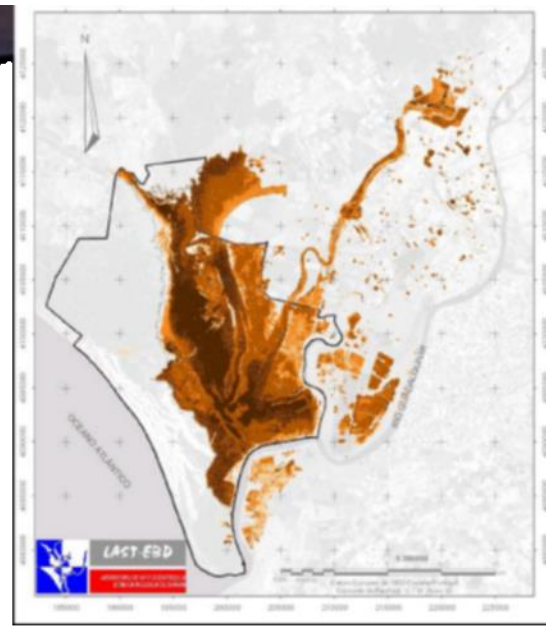
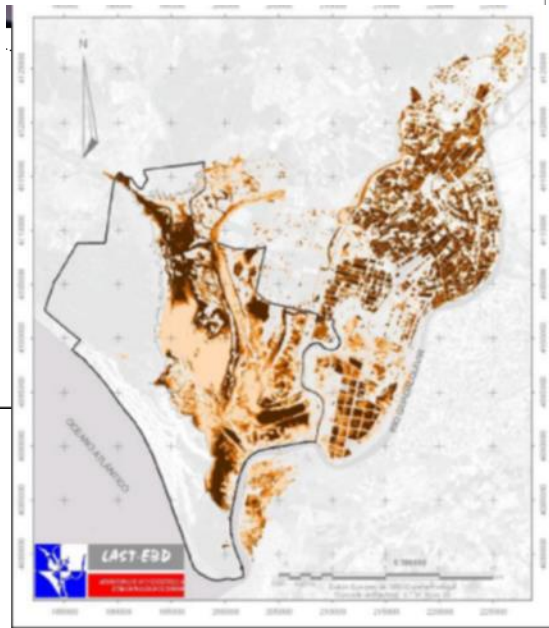
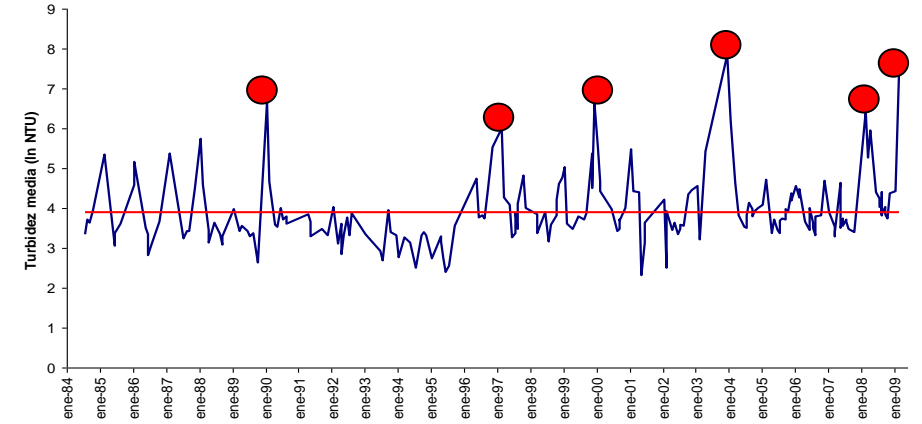
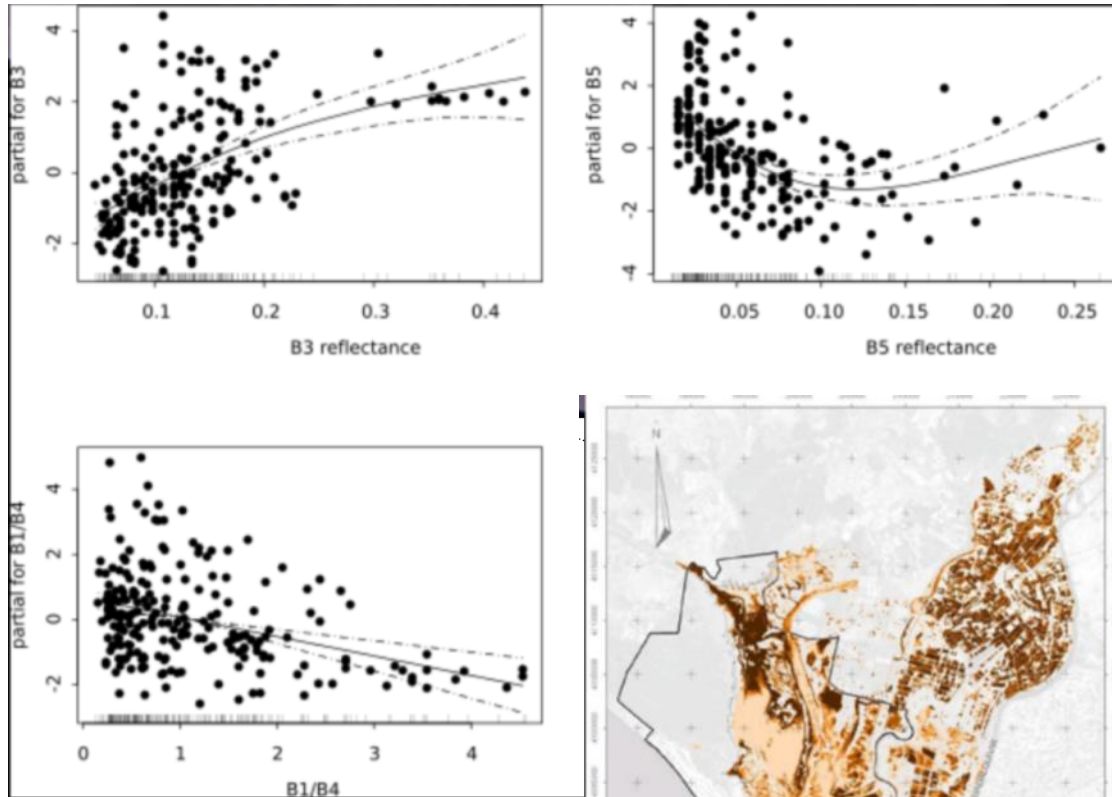


Anomalía del Hidroperiodo 2007-2008
(diferencia nº de días con respecto a la media 1974-2014)

1975-2014: Theil-Sen slope (days/year)



Cartografía histórica de turbidez



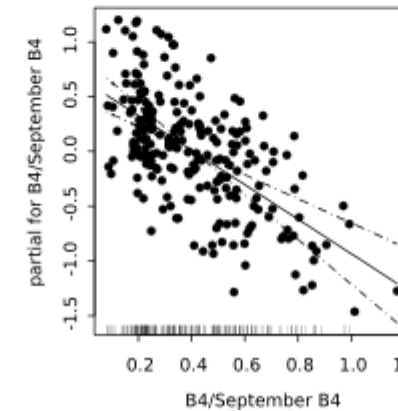
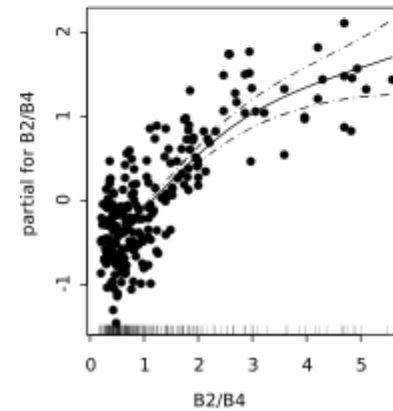
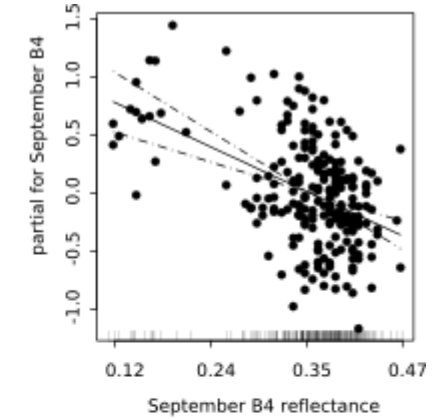
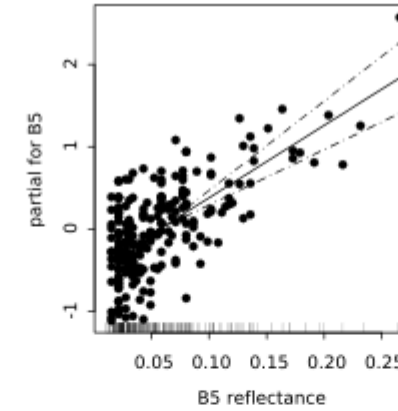
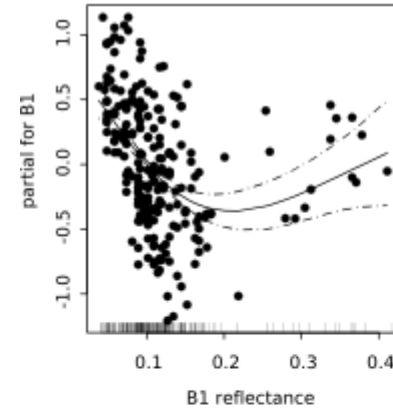
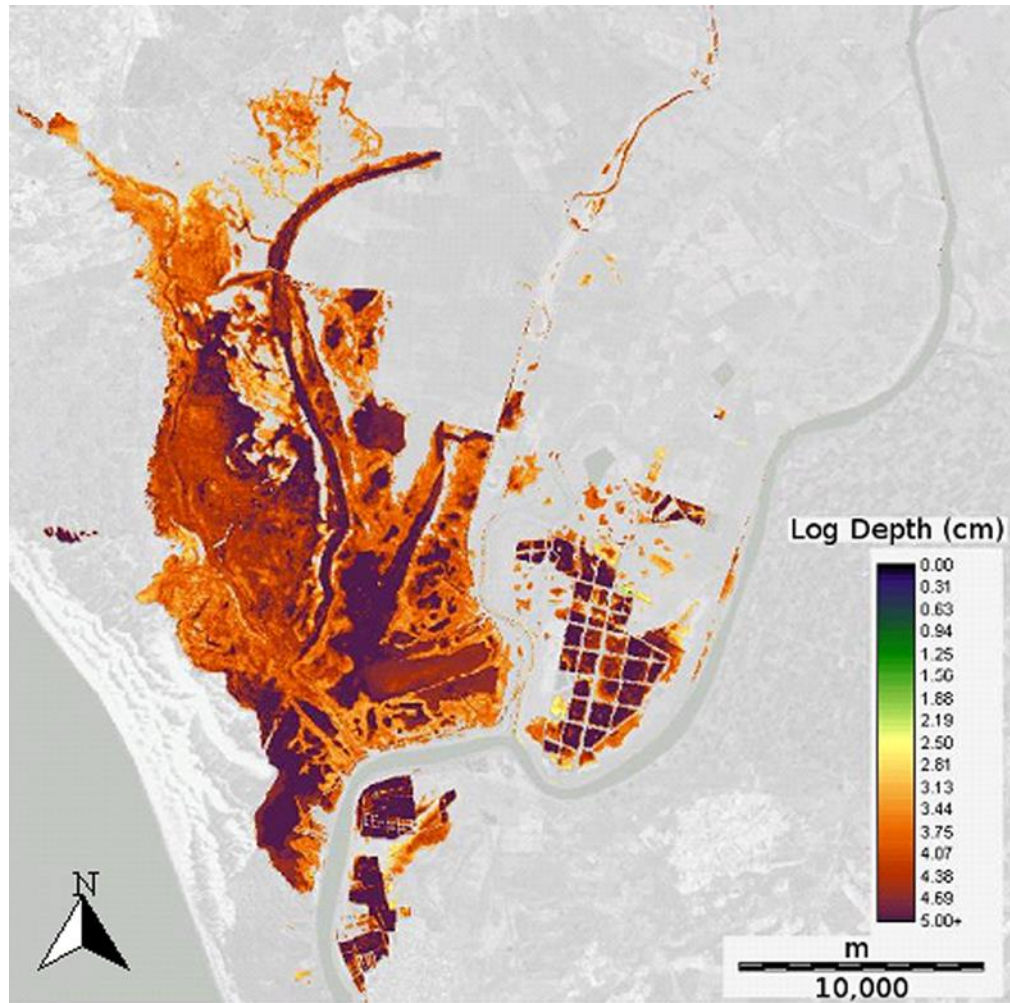
Turbiperiodo

14 enero 1990

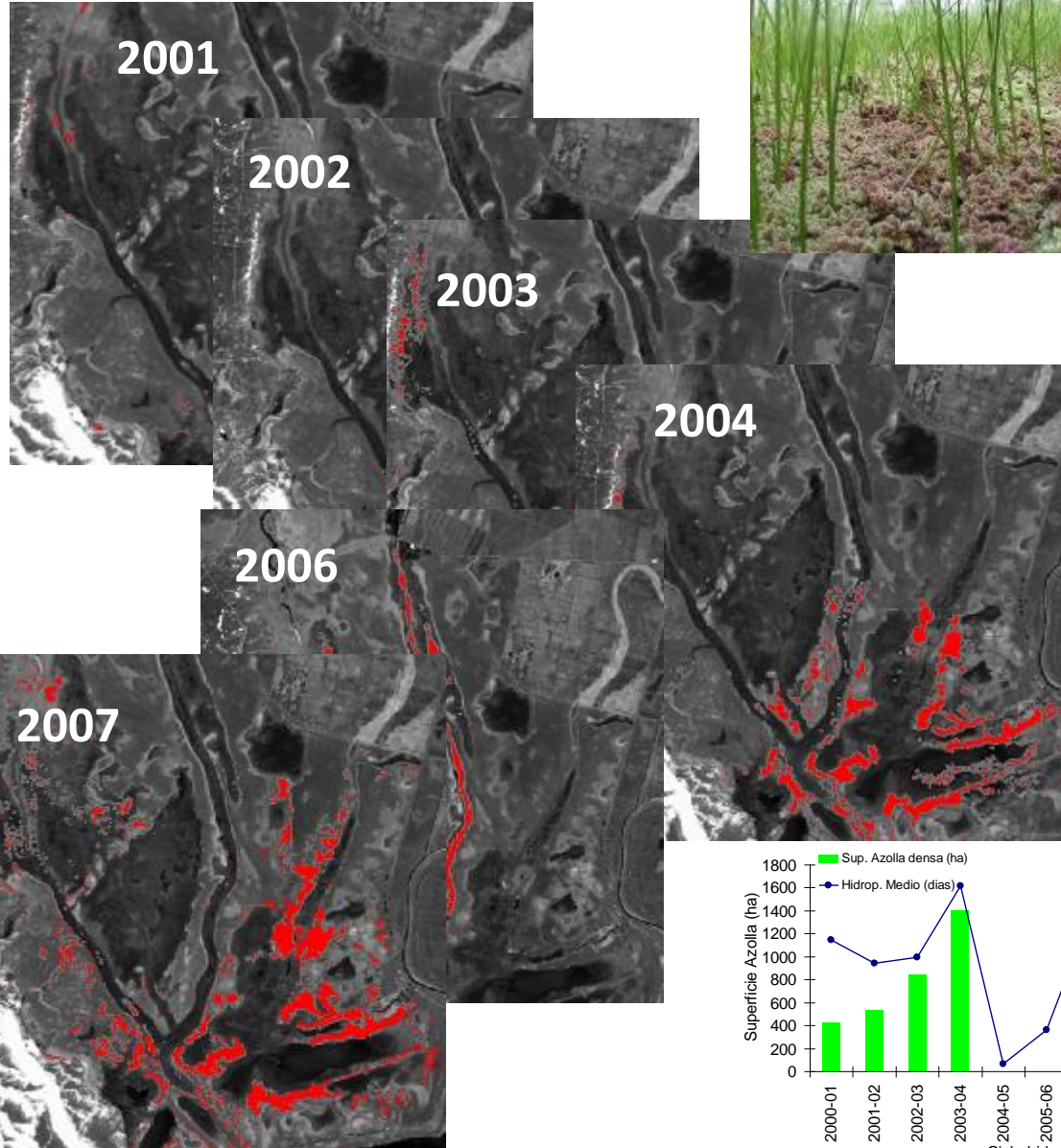
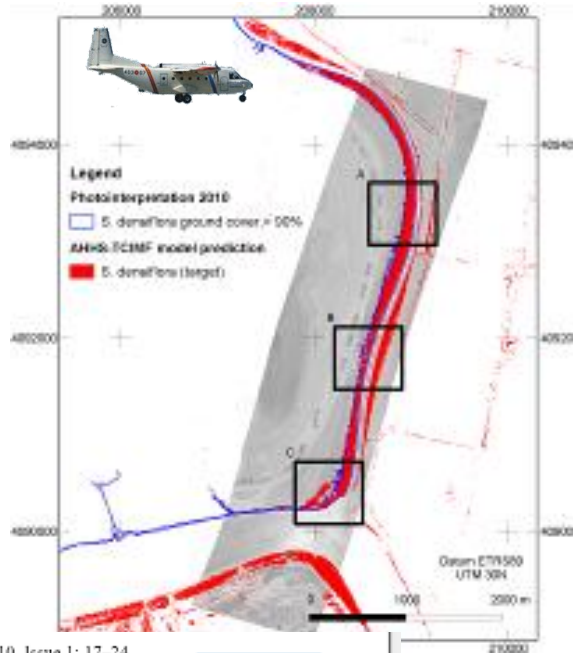
10 enero 2008

Seminario: La observación remota aplicada al seguimiento territorial de los ecosistemas – 25-27 Abril, 2022. CENEAM

Cartografía de profundidad



Cartografía de especies acuáticas invasoras



Aquatic Invasions (2015) Volume 10, Issue 1: 17–24
 doi: <https://doi.org/10.3391/ai.2015.10.1.02>
 © 2015 The Author(s). Journal compilation © 2015 READIC

Open Access

Research Article

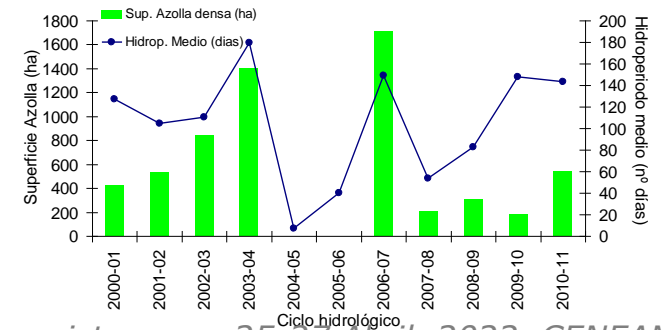
Linking *Azolla filiculoides* invasion to increased winter temperatures in the Doñana marshland (SW Spain)

José L. Espinar, Ricardo Díaz-Delgado
 Estación Biológica de Doñana (EBD)



Hyperspectral Sensors as a Management Tool to Prevent the Invasion of the Exotic Cordgrass *Spartina densiflora* in the Doñana Wetlands

Javier Bustamante^{1,2}, David Aragonés¹, Isabel Afán¹, Carlos J. Luque³, Andrés Pérez-Vázquez³, Elov M. Castellanos³ and Ricardo Díaz-Delgado^{1,*}



LABORATORIO DE SIG Y TELEDETECCIÓN
 ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA

Productos disponibles WMS, WFS, WCS



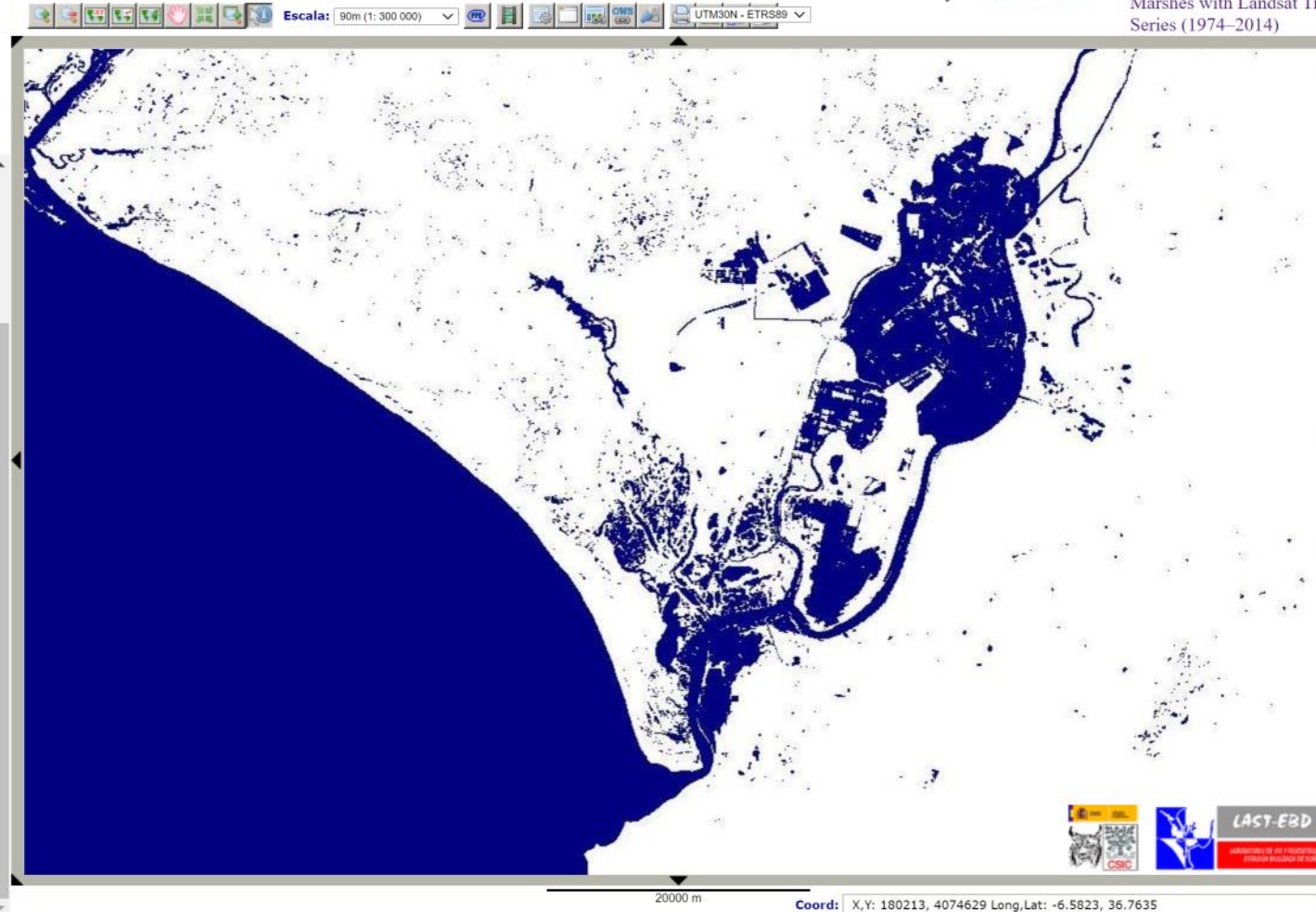
Servidor de Imágenes Landsat y productos derivados de Doñana



Referencias:
 • Díaz-Delgado et al. 20
 Long-Term Monitoring of
 the Flooding Regime and
 Hydroperiod of Doñana
 Marshes with Landsat Tin
 Series (1974–2014)

<http://venus.ebd.csic.es/imgs/>

- 1988-1989
 - 1989-1990
 - 1990-1991
 - 1991-1992
 - 1992-1993
 - 1993-1994
 - 1994-1995
 - 1995-1996
 - 1996-1997
 - 1997-1998
 - 1998-1999
 - 1999-2000
 - 2000-2001
 - 2001-2002
 - 2002-2003
 - 2003-2004
 - 2004-2005
 - 2005-2006
 - 2006-2007
 - 2007-2008
 - 2008-2009
 - 2009-2010
 - 2010-2011
 - 2011-2012
 - 2012-2013
 - 2013-2014
 - 2014-2015
 - 2015-2016
 - 2016-2017
 - 2017-2018
 - 2018-2019
 - 2019-2020
 - 2020-2021
- 02/12/2020
- Falso color (543)
 - Color natural (321)
 - NDVI
 - Máscara de inundación
 - Mapa de turbidez



Doñana como supersitio de validación (eLTER)

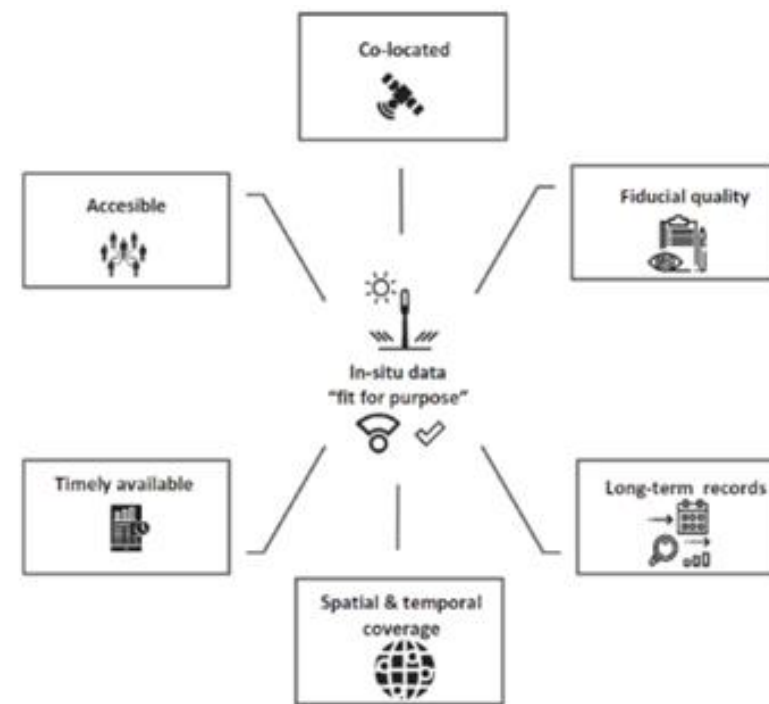
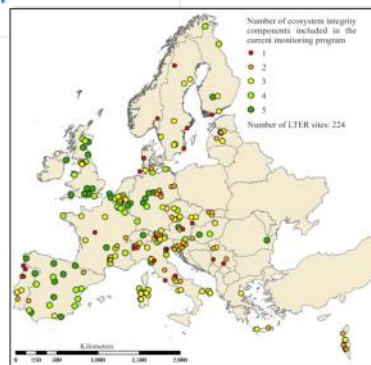
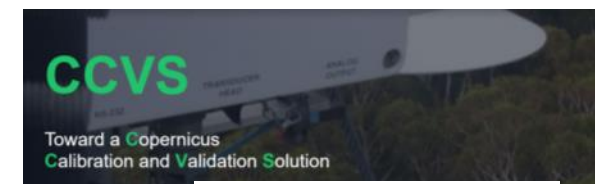
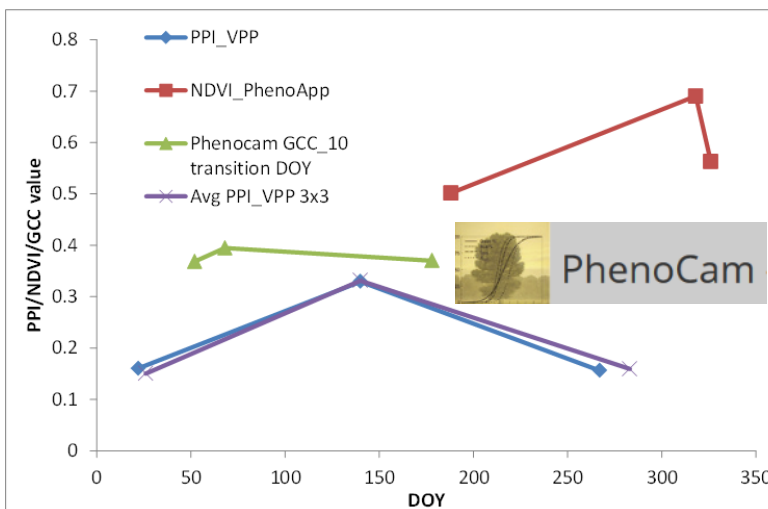
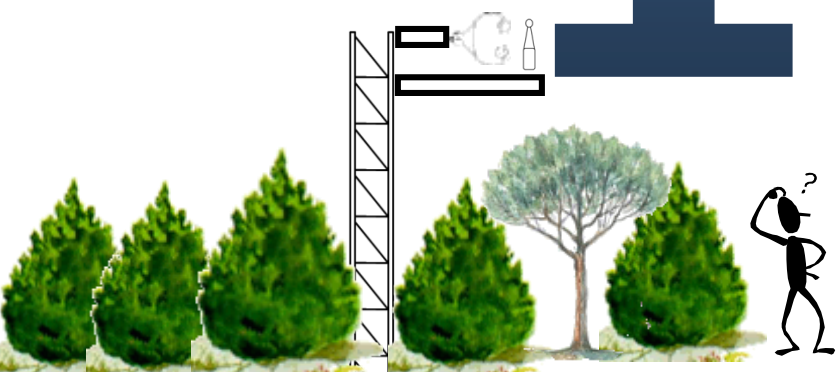


Figure 3. Conceptual outline of the requirements imposed on in-situ data in order to be fit for the purpose of CalVal.



GRACIAS

