



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural



La gestión forestal orientada a los procesos hidrológicos.

Producción, retención y uso del agua por el bosque.

Posible margen de acción en España y en la cuenca del Ebro en particular

BOSQUES Y AGUA

INNOVACIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS MONTES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA AZUL



Confederación Hidrográfica del Ebro.
Celebración Día Mundial del Agua. Zaragoza. 22-mar-2024

Antonio del
Campo

lanca@univ.es

Contenidos

1. Aspectos generales de las relaciones Bosque-Agua y la gestión ecohidrológica del bosque

- Funciones Hidrológicas contrapuestas
- La plétora de factores

• Estructura forestal y régimen humedad del

2. Efectos globales de la Gestión Forestal Ecohidrológica

3. Experiencias previas

4. Posibilidades provisión de agua en la cuenca del Ebro

5. Conclusiones



1.- Aspectos generales Bosque- Agua-Gestión

- **Funciones hidrológicas del bosque:**

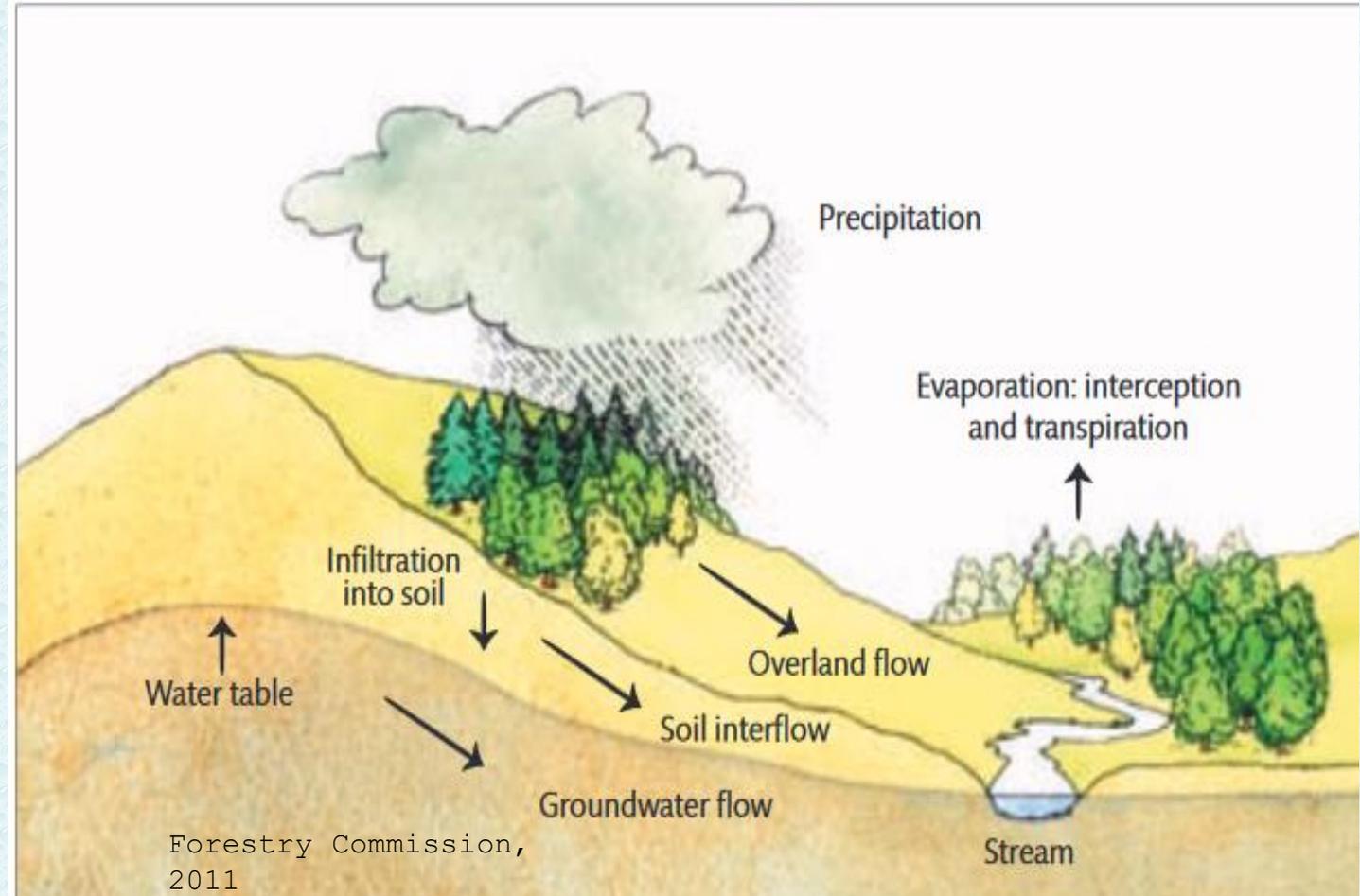
- **Retención/regulación** de agua
 - Regulación hídrica
 - Erosión
- **Uso** de agua
 - Productividad primaria (biomasa),
 - WUE
- **Provisión** de agua
 - Caudales
 - Manantiales
 - Acuíferos

- ¿qué funciones

CICLO HIDROLÓGICO ← → FUNCION HIDROLÓGICA

PROCESOS
SERVICIOS

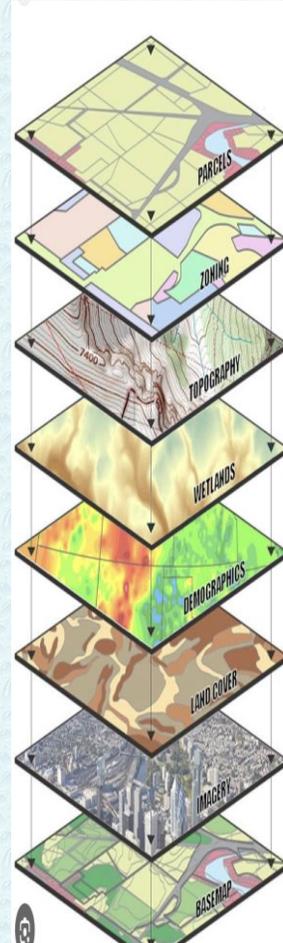
← →





Funciones hidrológicas = f(otras variables)

- Las relaciones bosque-agua y las funciones hidrológicas descansan también sobre **otras variables**



Clima
(P, PE)

Topografía

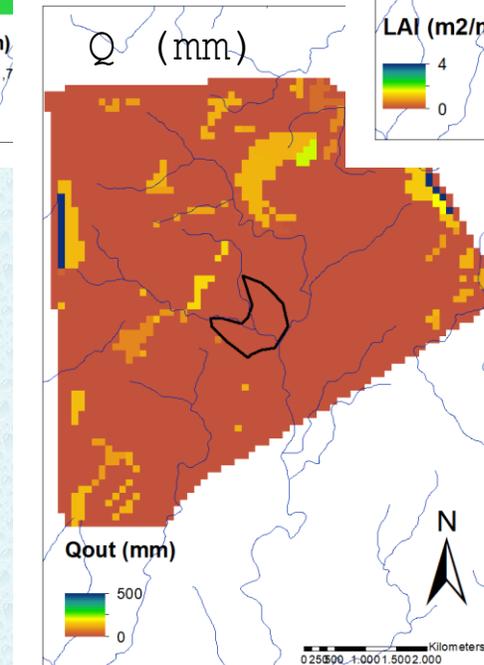
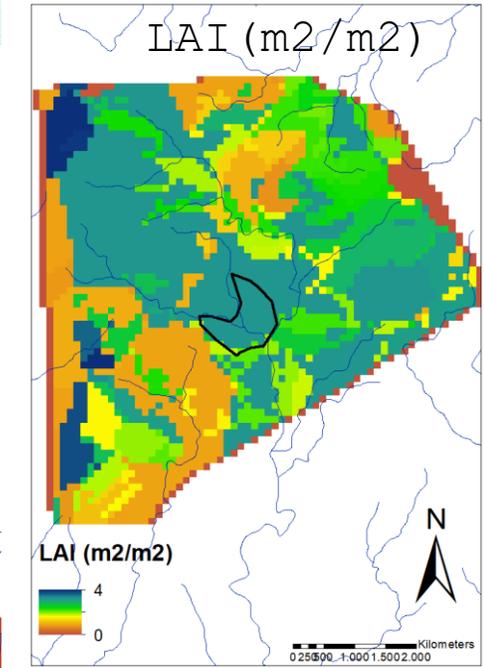
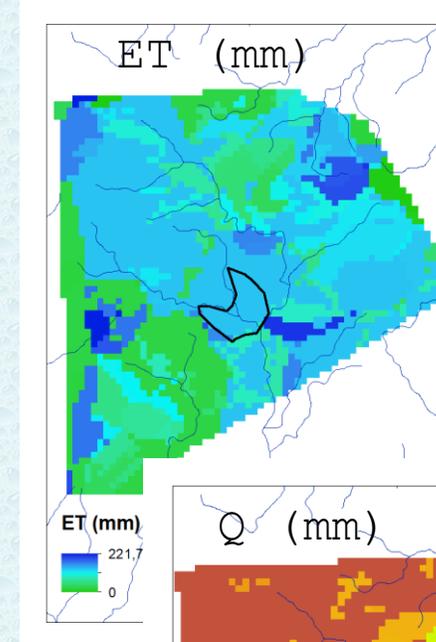
Uso

Bosque

Suelo

Saprolito

Geología

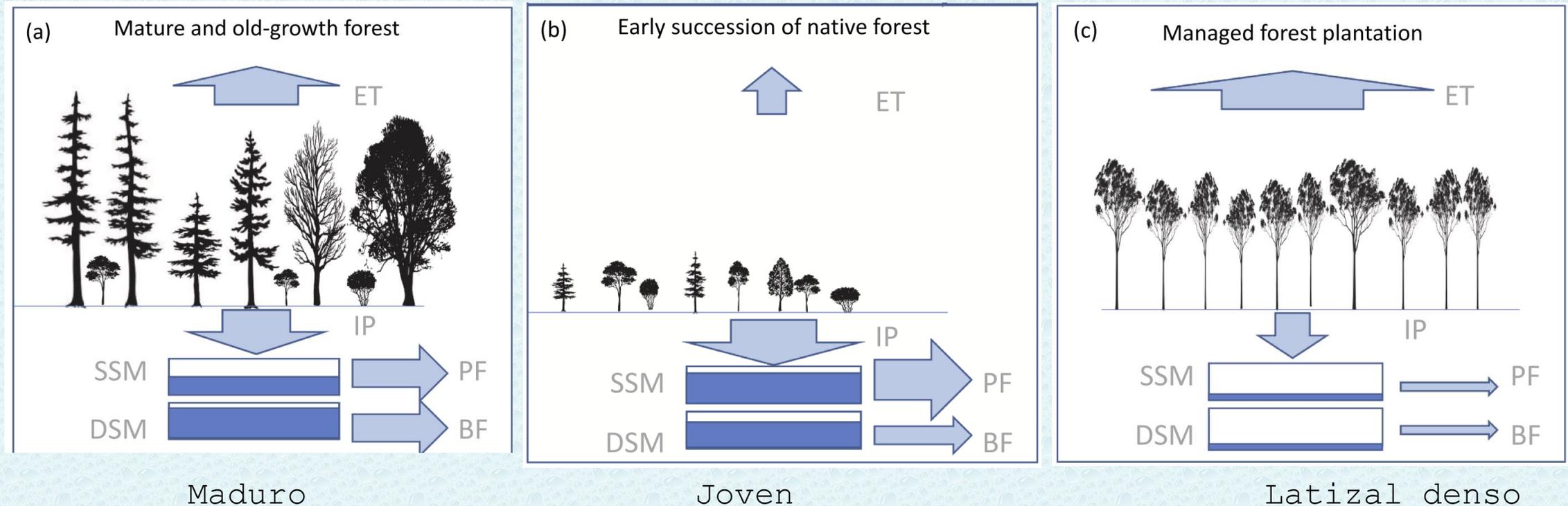


Funciones hidrológicas: Estructura y madurez bosque

- **Estructura y madurez bosque** vs. Funciones hidrol.

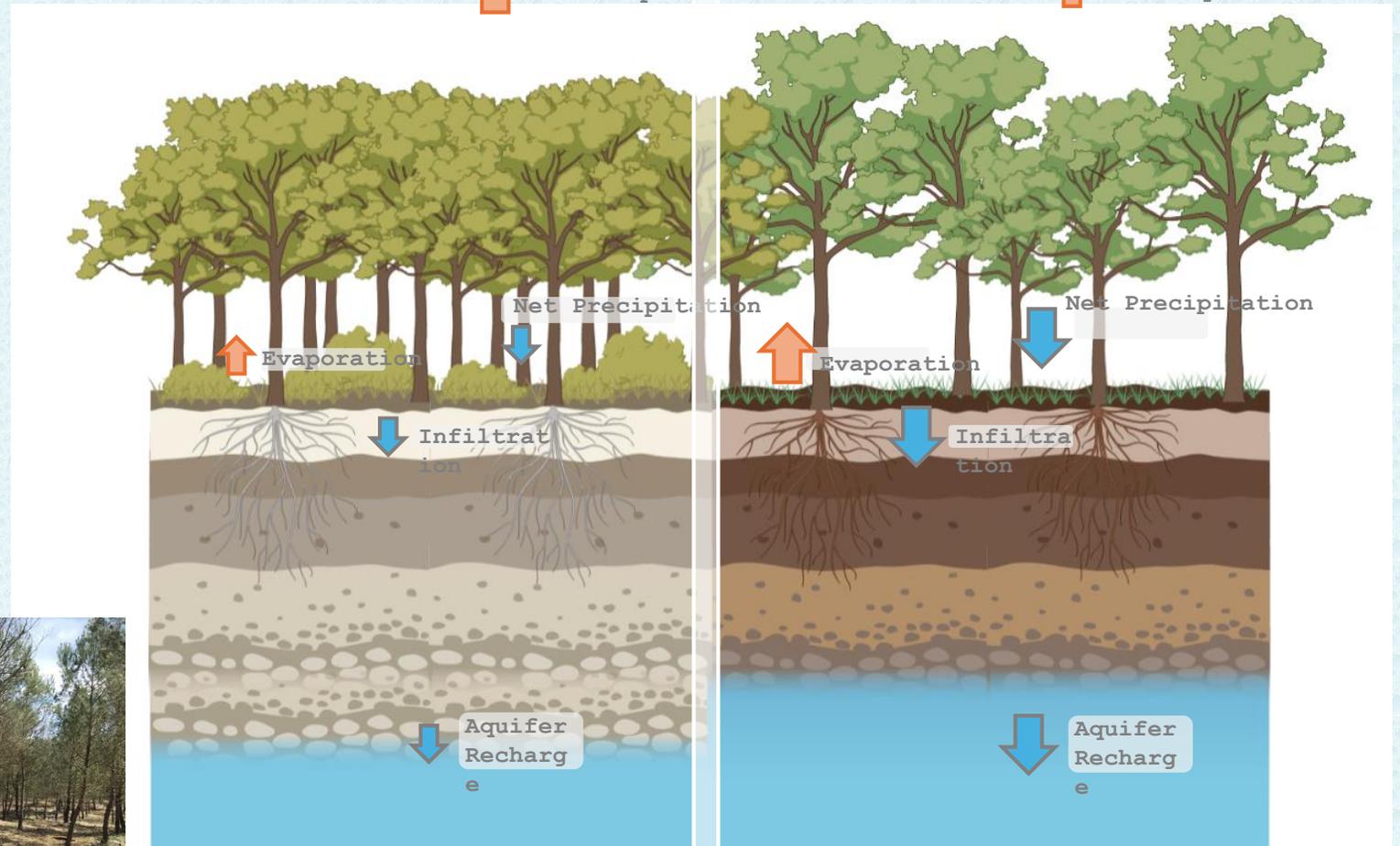
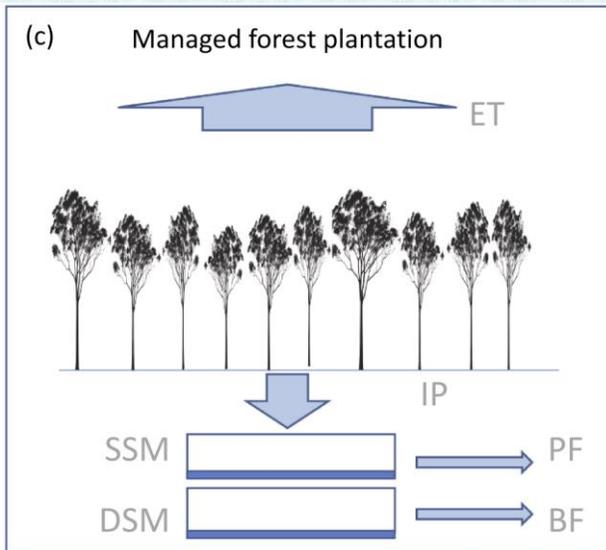
Distinta Retención y regulación (agua suelo, IP, biomasa), **Uso** (ET, área foliar), **Provisión** (PF, BF,)

Jones et al.,
2022



Estructura bosque vs. Funciones hidrológicas ¿qué funciones interesan?

**Selvicultura
ecohidrológica**
Latizal denso



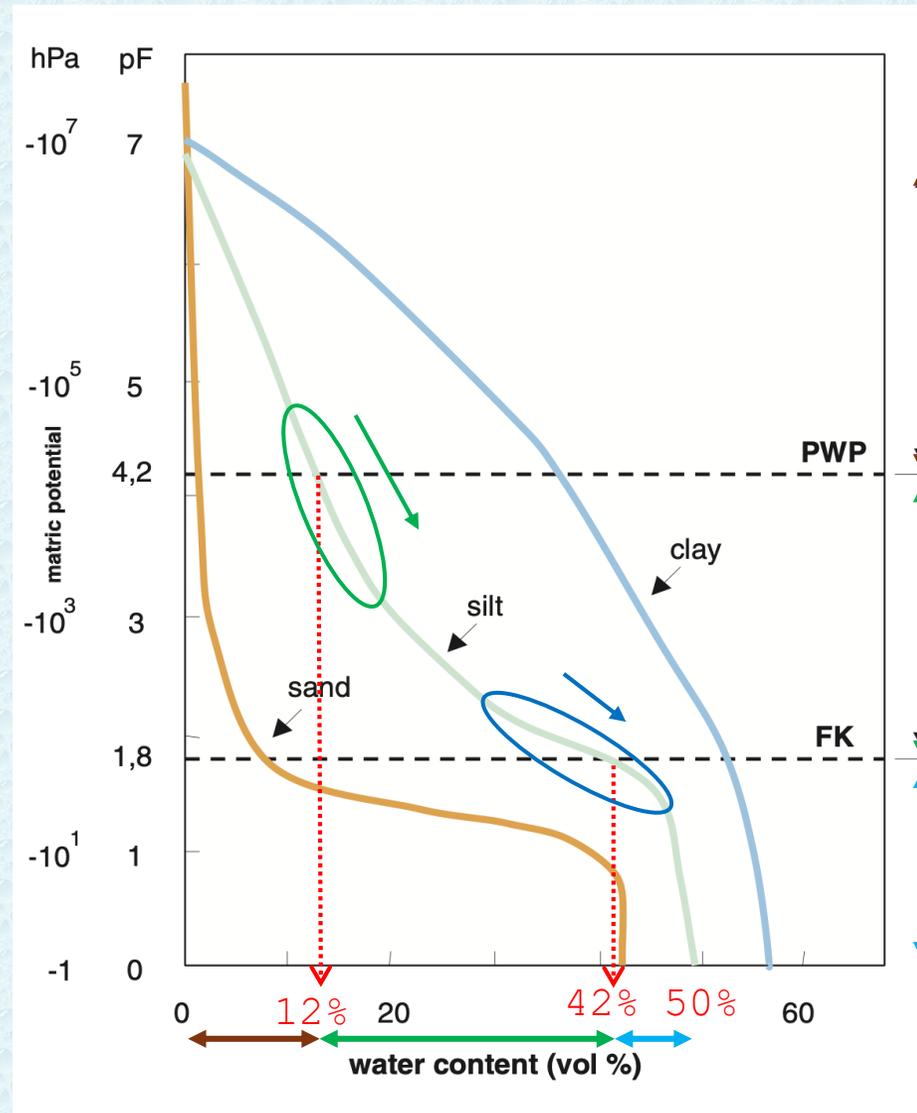
No Clareado o control

Clareado



Funciones hidrológicas → en buena medida dadas por **régimen humedad del suelo**

- **Retención:** Total de agua (**porosidad**) → **50% + W**
- **Regulación:** Porosidad disponible para la precipitación → **50% - VWC_{actual}**
- **Provisión:** Agua gravitacional: (**FC < P**) → **8%**
- **Uso:** Agua capilar (disponible): de agua (**PWP < U < FC**) → **30%**
- **Uso limitado:** Agua higroscópica (no disponible) → **12%**



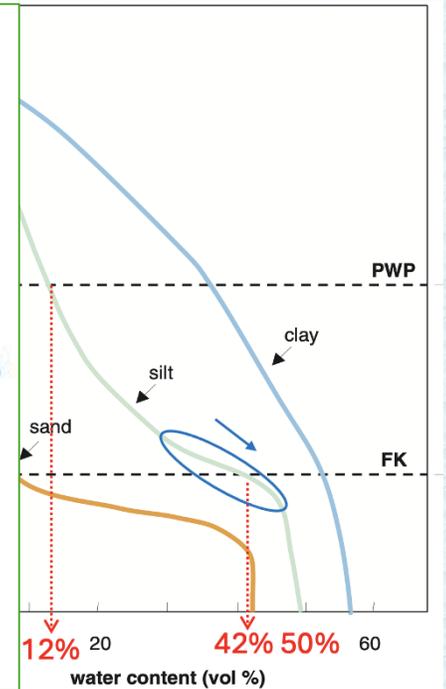
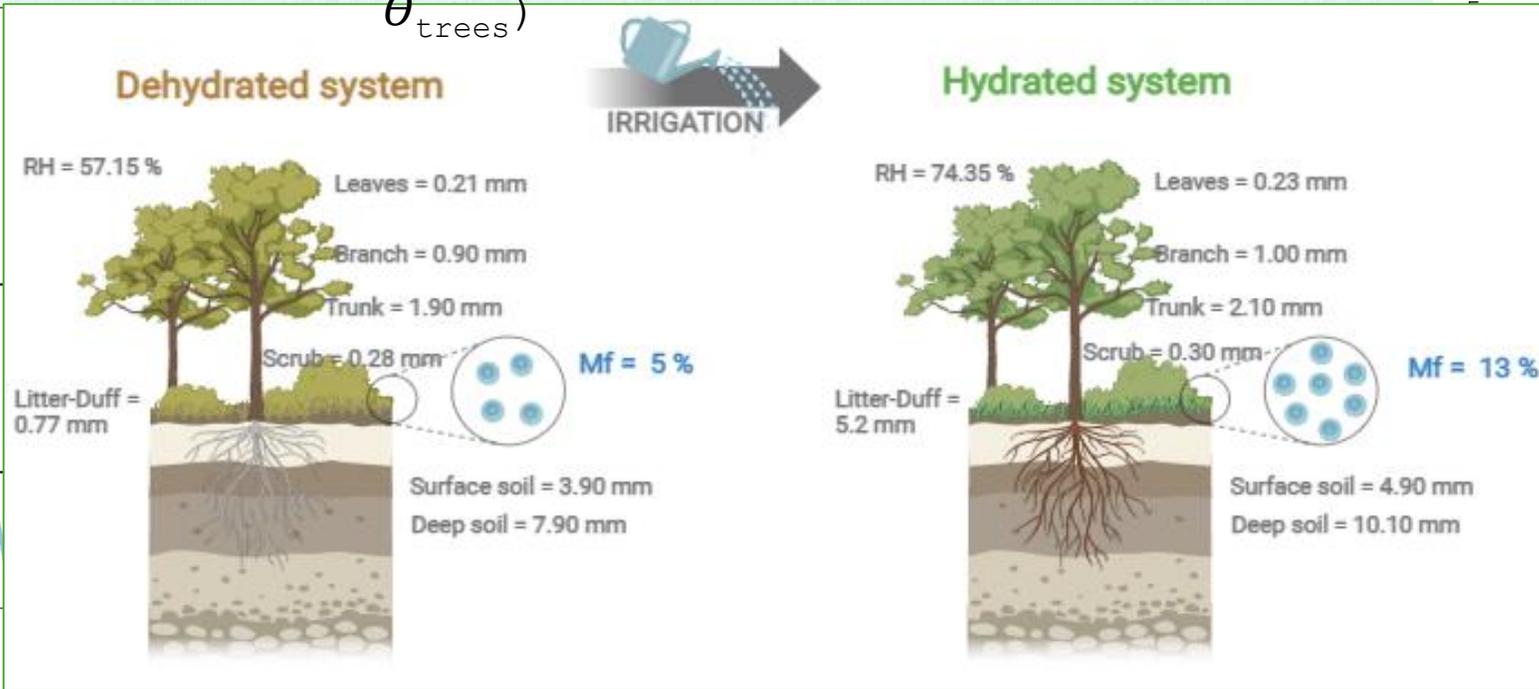
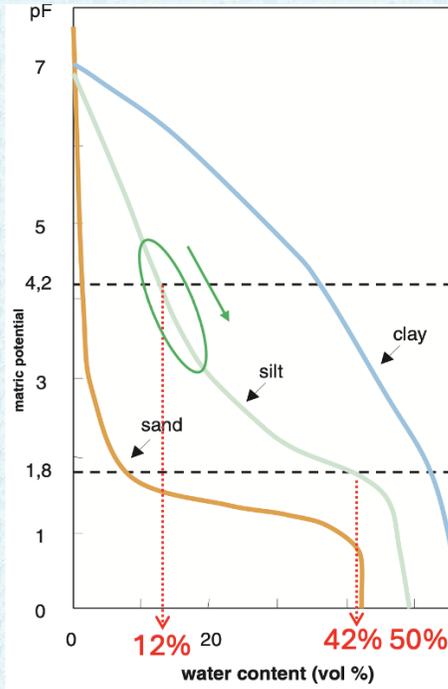
AGUA NO DISPONIBLE

AGUA DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS

AGUA DISPONIBLE PARA EL SISTEMA HIDROLOGICO

Funciones hidrológicas → en buena medida dadas por **régimen humedad del suelo**

$$\theta_{\text{Suelo}} \approx 80\% \quad (\theta_{\text{Soil}} \gg \theta_{\text{trees}})$$

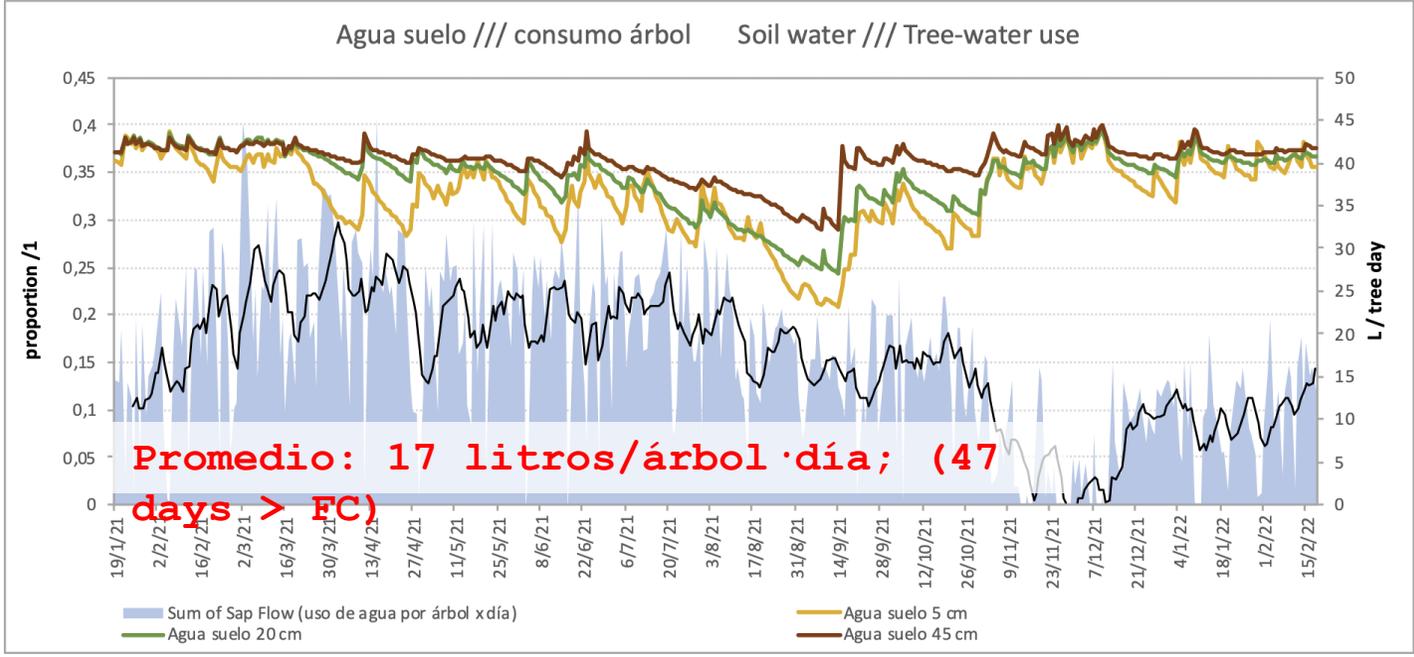


**Favorecer
Uso/Retención
: verde**

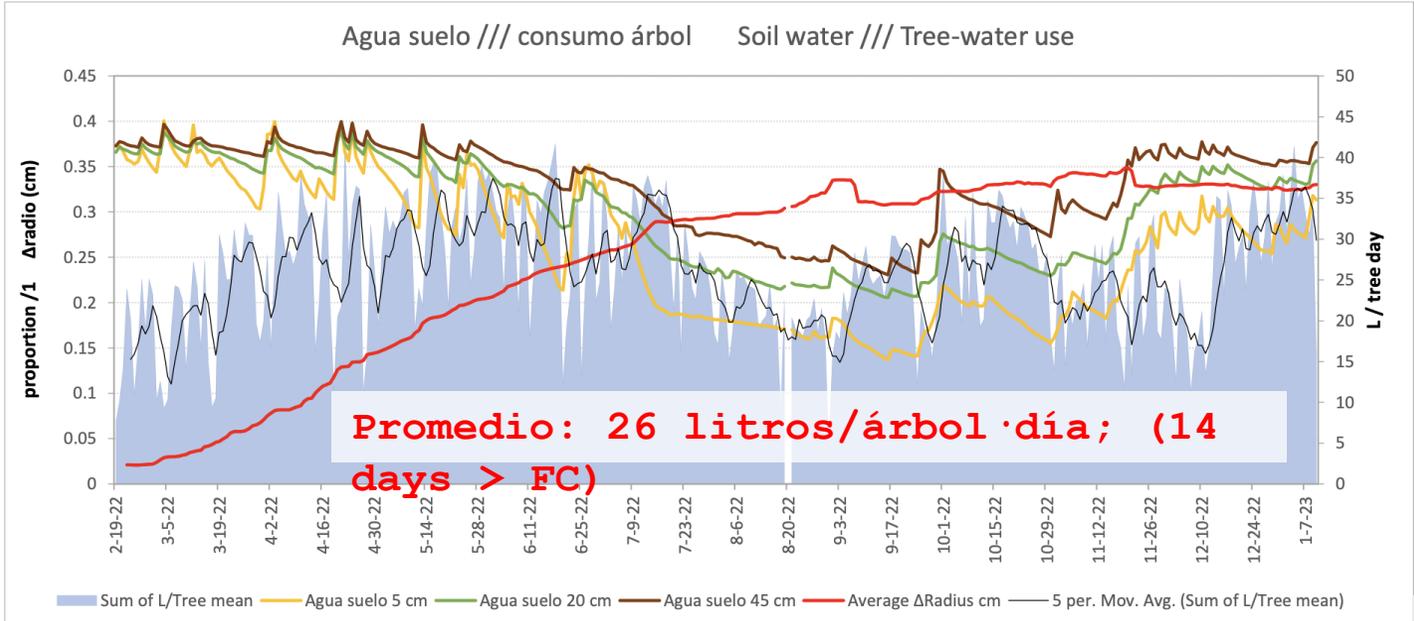


**Favorecer
Provisión/Regulac
ión: azul**

Agua del suelo y consumo de agua diario del árbol promedio: 2021



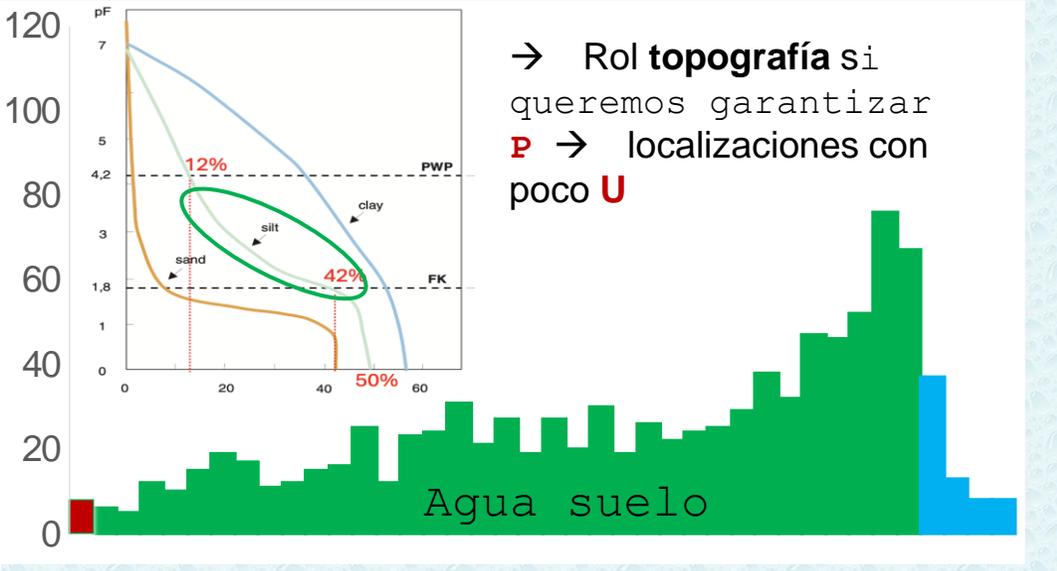
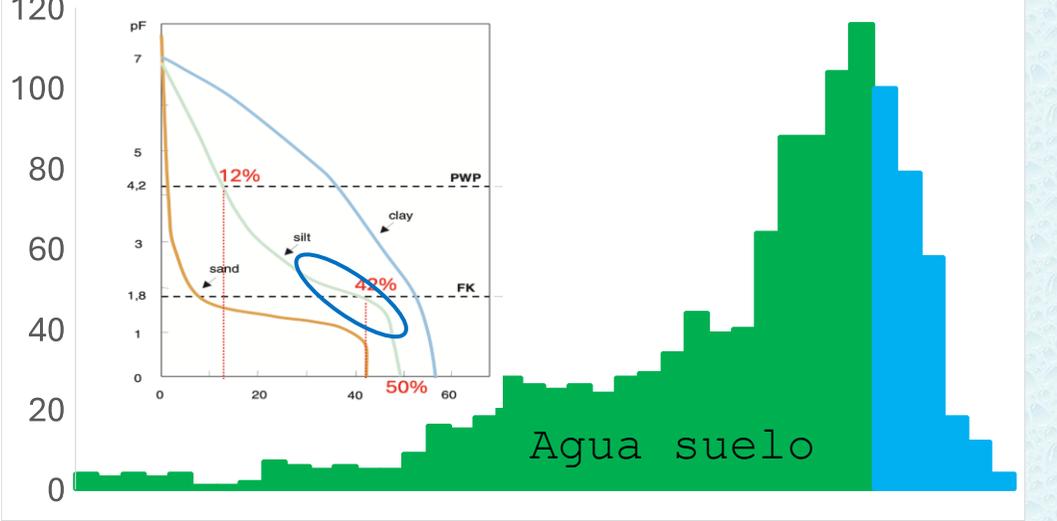
2022 (incluye crecimiento radial acumulado en cm)



El rol del regimen

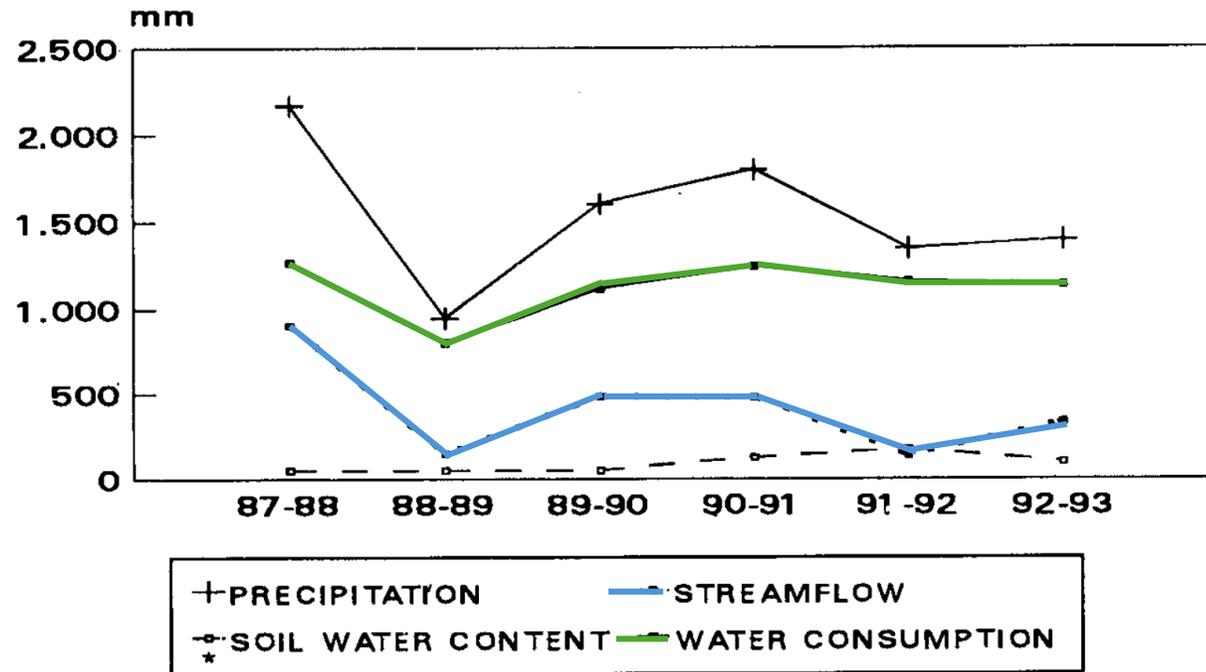
θ muestra PIRA, 250 pies/ha: Año húmedo (W) vs. seco (D)

- Retención de agua: $D = W$
- **Provisión de agua: $D < W$**
- **Uso de agua: $D > W$**



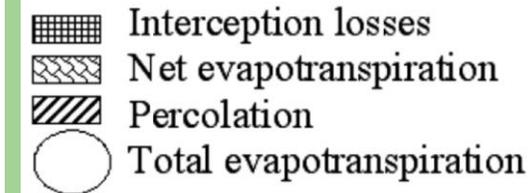
2.- Gestión Forestal Ecohidrológica: Efectos globales: muy variable en el tiempo y el espacio

ARCOS P. PINASTER WATERSHED WATER BALANCE

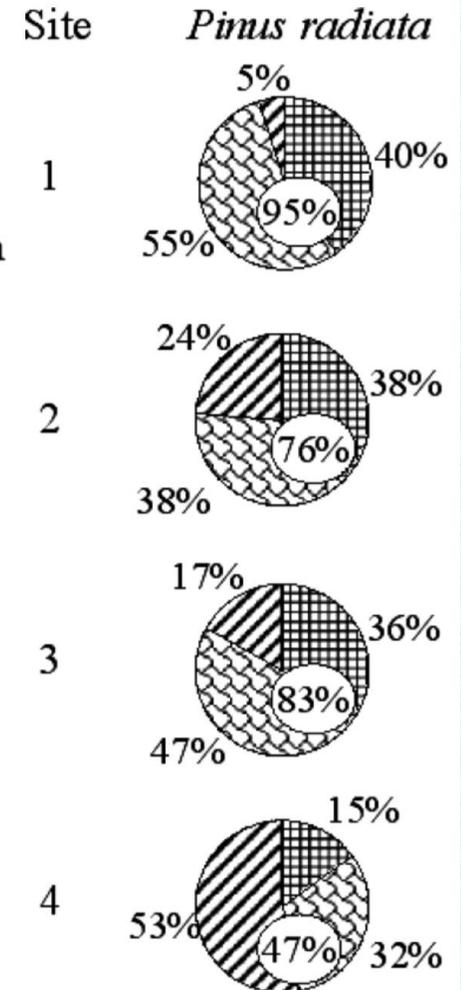


Consumo potencial en una plantación gallega representativa y no perturbada: **1000-1100 mm/año**
 ≈ **70-80% P** (P ≈ 1540 mm; It ≈ 25%)
 PIPR en Galicia (Gras et al. 1993)

PIRA Chile (varios sitios 1000-2200 mm)



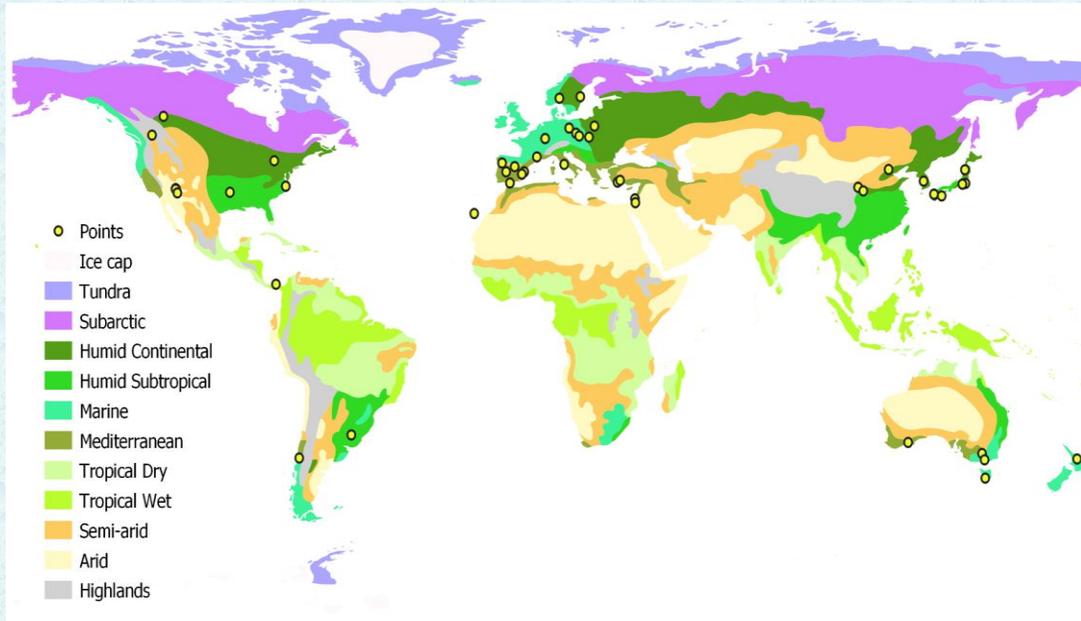
Huber et al., 2008
 Hydrol. Process.
 22, DOI:
 10.1002/hyp



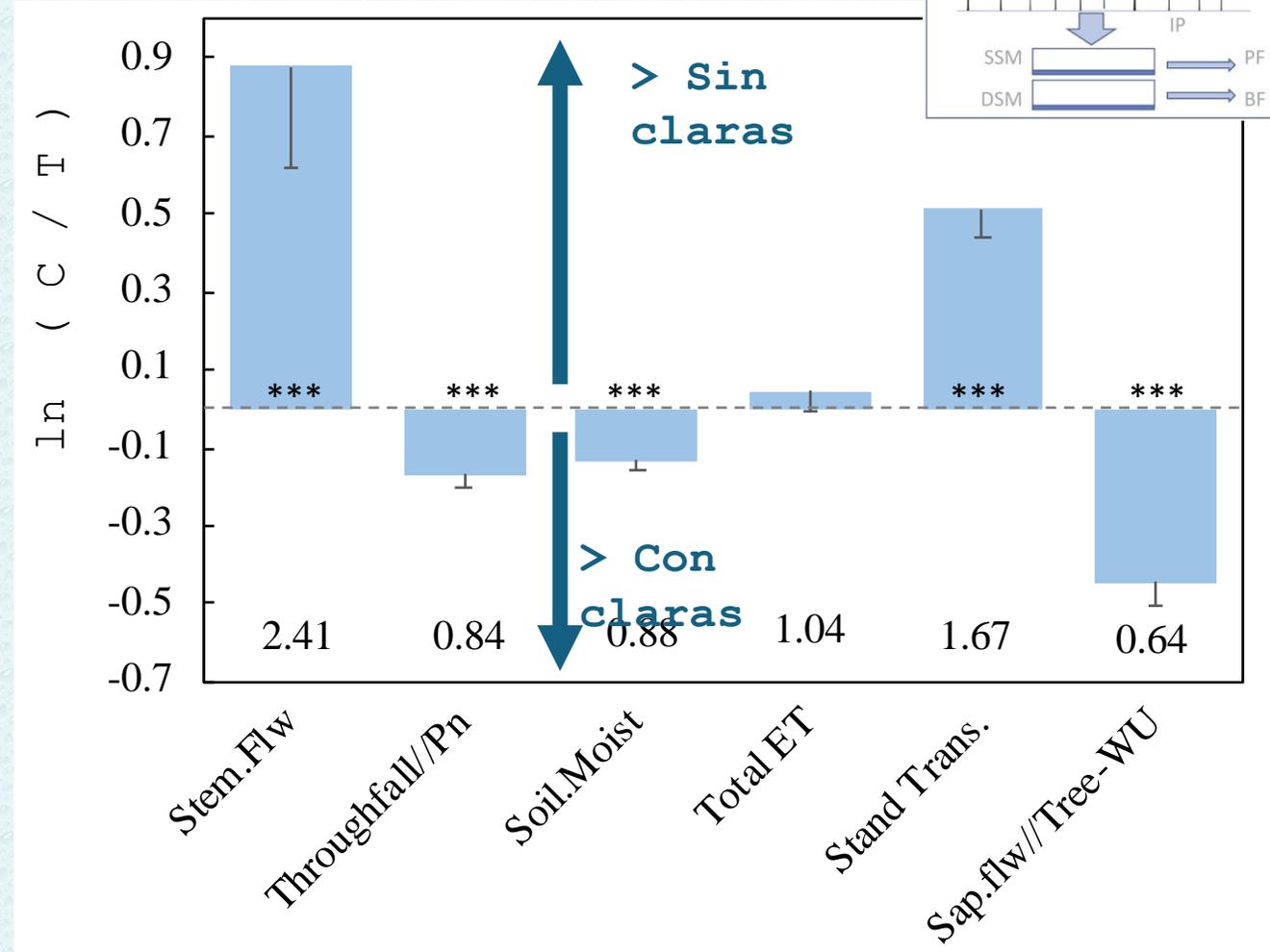
¿Puede modificarse?

2.- Efectos globales de la Gestión Forestal Ecohidrológica

- Meta-análisis



Proceso Hidrológico	ln (RoM)
Escurrimiento fustal o cortical	0.88
Trascolación / Luvia neta	-0.17
Humedad del suelo	-0.13
ET Total	0.04
Transpiración de la MASA	0.51
Transpiración ÁRBOL INDIVIDUAL	-0.45



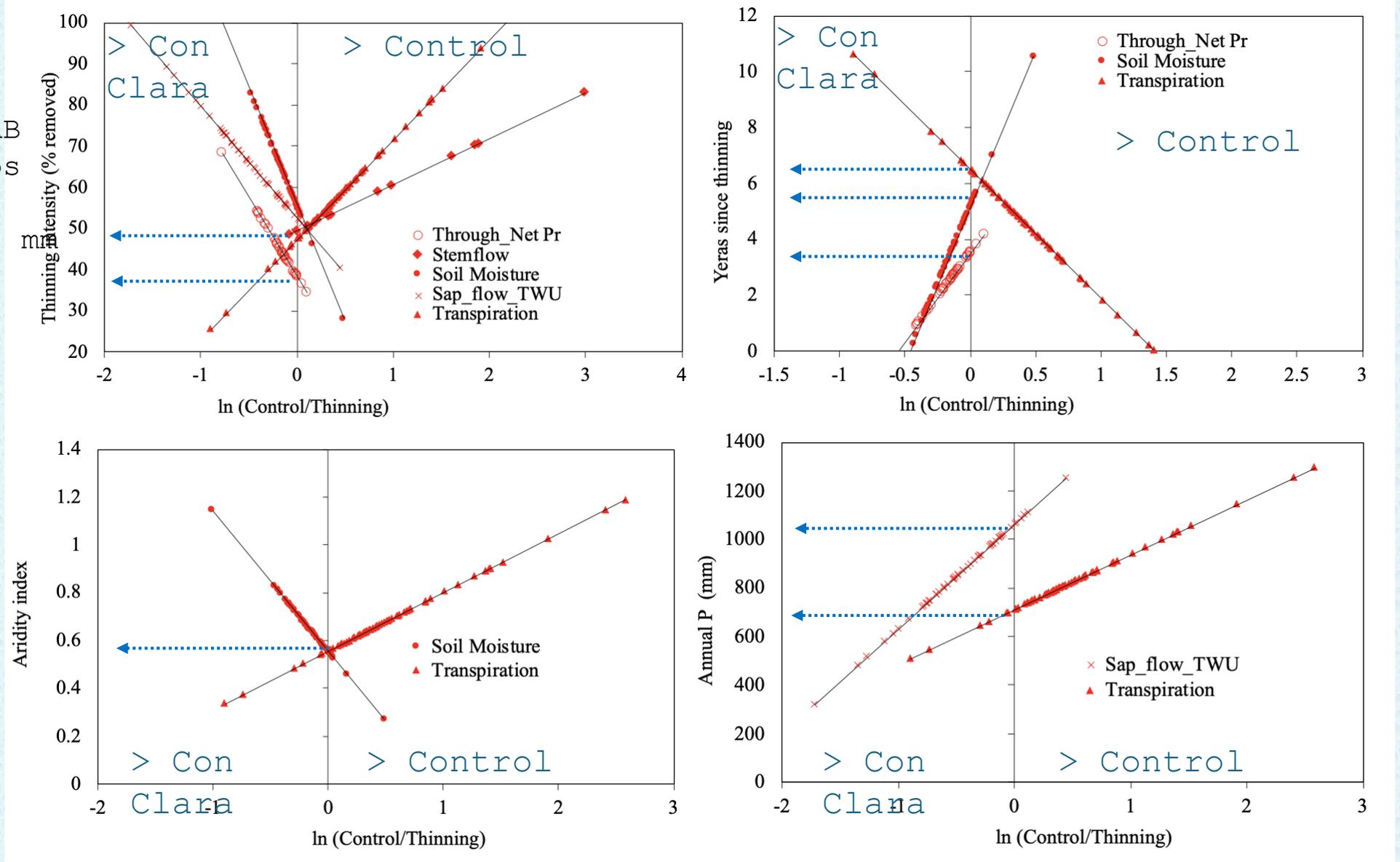
Del Campo et al., 2022.

[https://authors.elsevier.com/sd/article/S0378-1127\(22\)00318-8](https://authors.elsevier.com/sd/article/S0378-1127(22)00318-8)

2.- Efectos globales de la Gestión Forestal Ecohidrológica

Meta-análisis

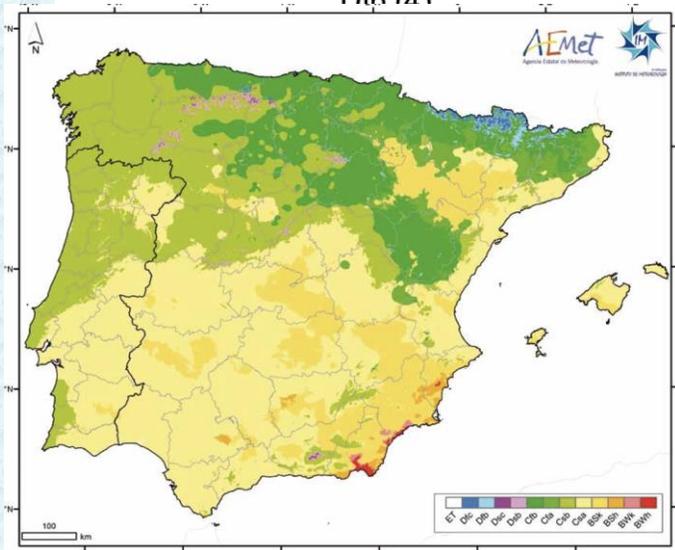
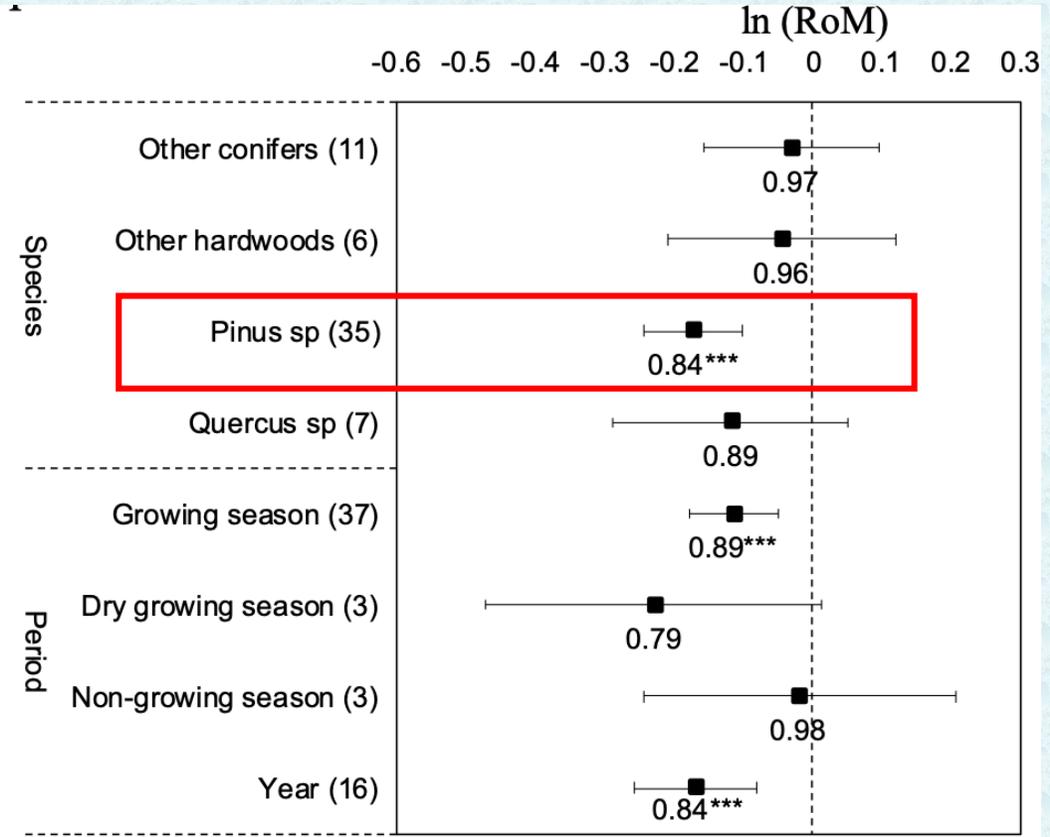
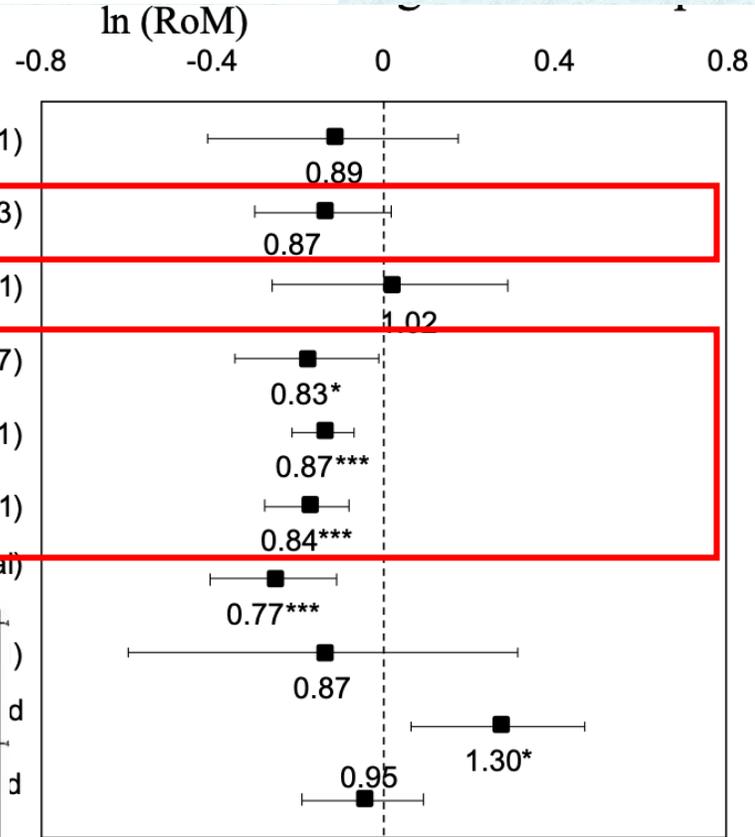
- Intensidad > 40%AB
- Duración: 4-7 años
- P/ET: > 0.5
- P: > 600 & < 1000 mm



Del Campo et al., 2022.
[https://authors.elsevier.com/sd/article/S0378-1127\(22\)00318-8](https://authors.elsevier.com/sd/article/S0378-1127(22)00318-8)

3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

Humedad del suelo

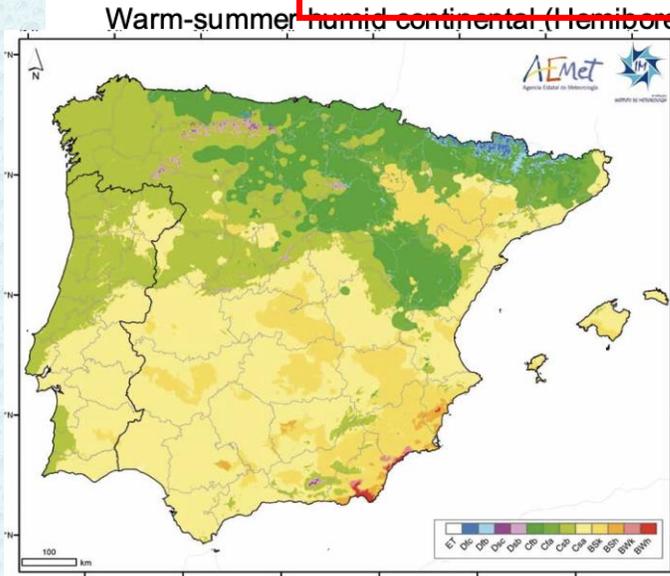
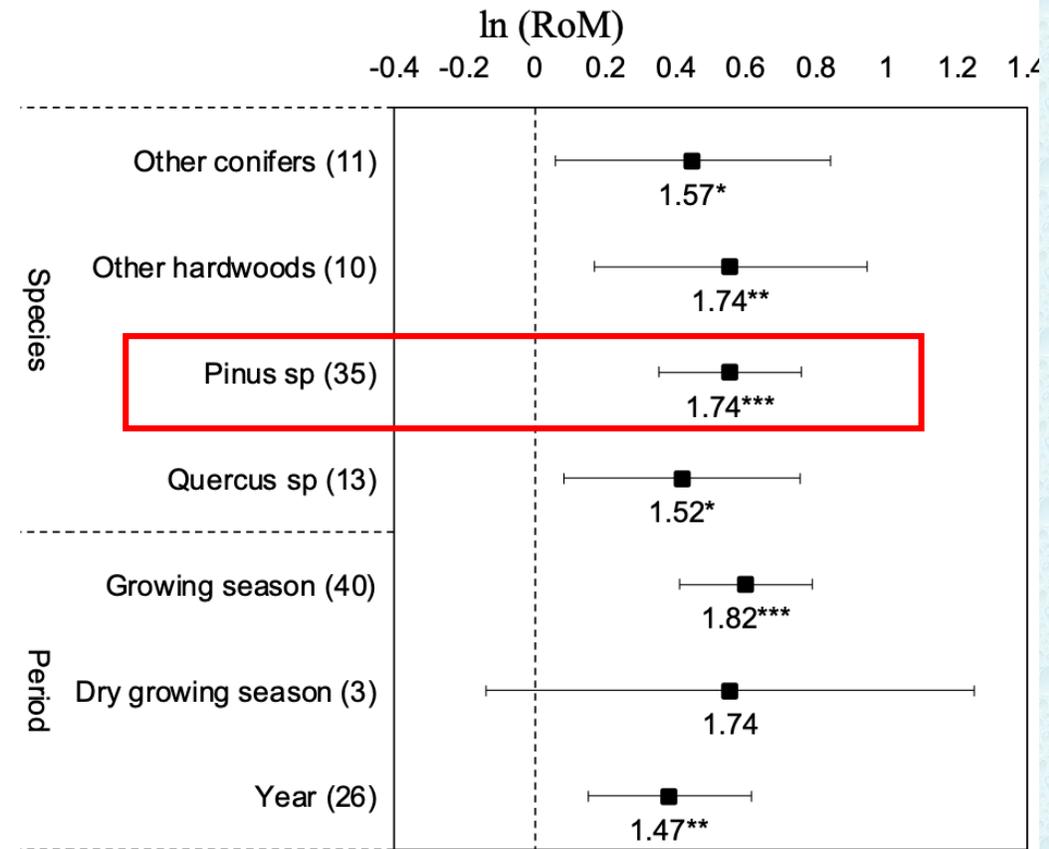
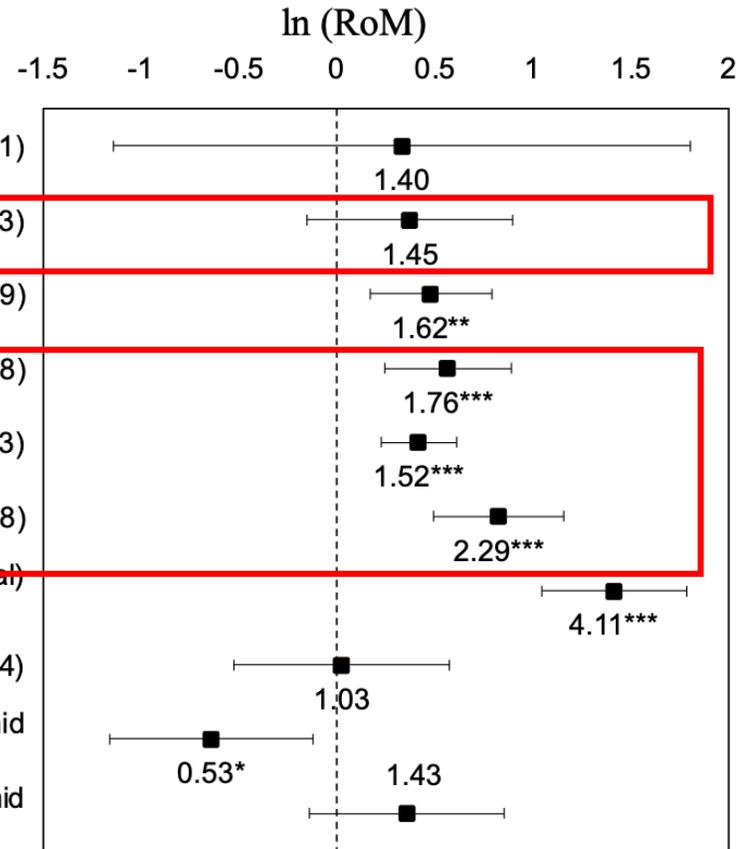


← > Con Clara > Control

← > Con Clara > Control

3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

Tránspiración de la Masa



← > Con Clara > Control

← > Con Clara > Control

3. Experiencias previas de gestión forestal ecohidrológica

Selvicultura eco-hidrológica

PARCELA-LADERA y CUENCA

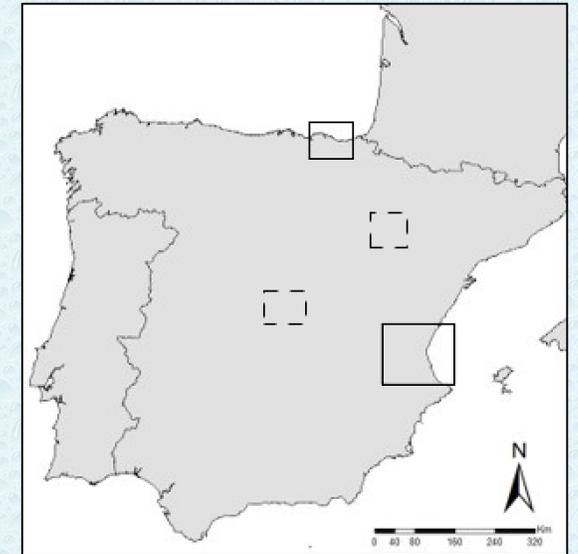
- *Demostrar Gestión → C.A.F.E.*
- *Parametrizar modelos para simulación ecohidrológica*
- *Valor divulgat*

- *Valencia (4)*
- *Vizcaya*
- *Zaragoza*
- *Madrid*
- *Albacete (previsto)*



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

departamento de ingeniería
hidráulica y medio ambiente
dihma



Eco-hydrological Forest Management

C

Biomass production by
improving growth (forest
management)

A

Water provisioning (quality
& quantity)

F

Improve stand resistance
to wildfires

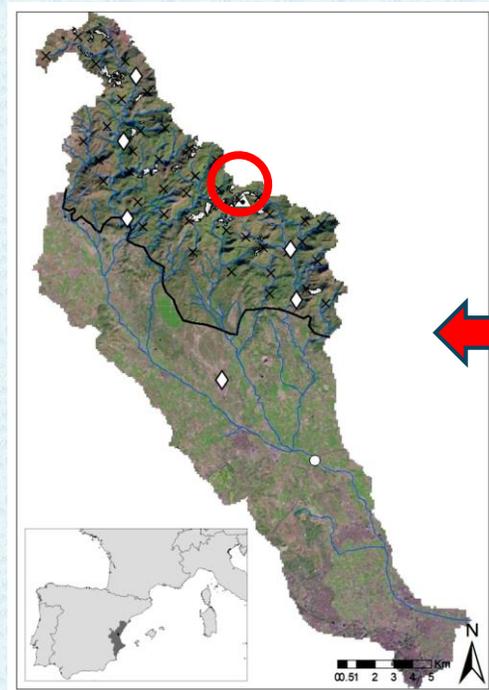
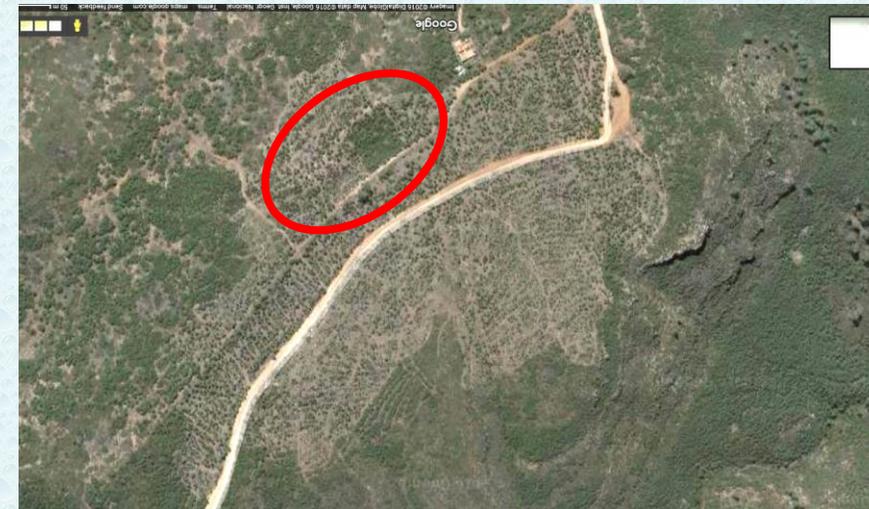
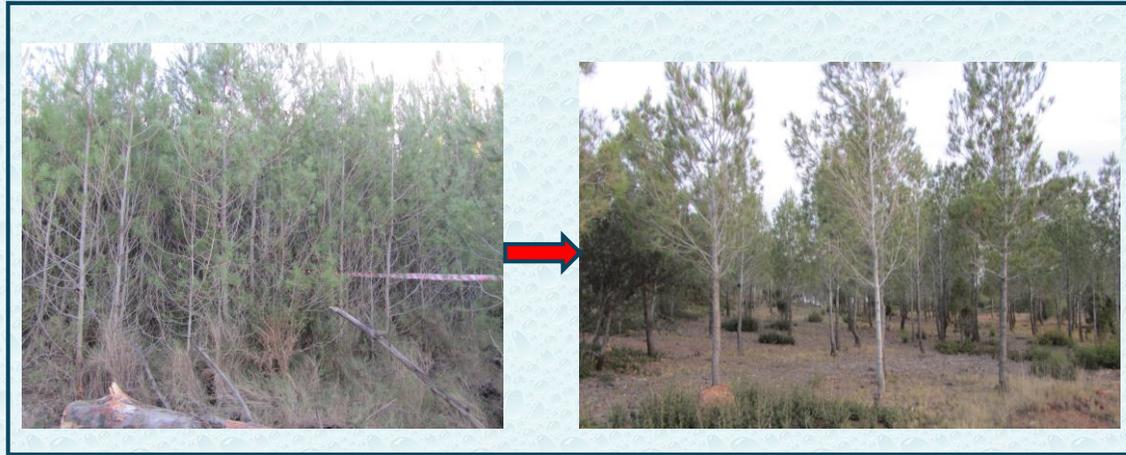
E

Improve tree-climate
resilience

Without impairing soil props. and nutrient cycles

3. Experiencias previas de gestión forestal ecohidrológica en España

Enfoque de cuencas o (unidades hidrológica) anidada



3. Experiencias previas en España

PARCELA → CUENCA (Sierra Norte Mac)

Vocación del territorio

- **Vocación** general cuenca para C.A.F.E.
- **Objetivos** específicos de la Selv. Ecohidrológica (FUNCION)

Potencialidad bosques

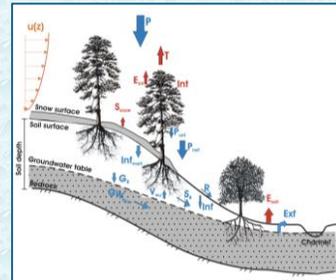
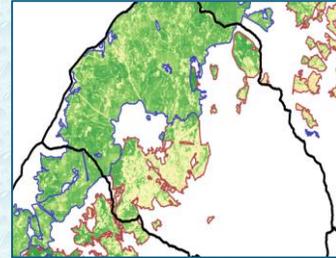
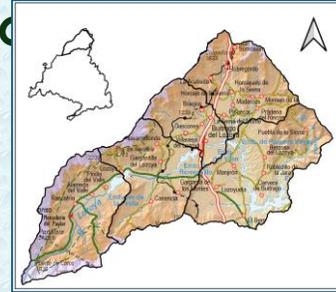
- Valoración, aptitud o **potencialidad** cualitativa de las **masas forestales** para el/los objetivos o SE emanado del punto anterior

Simulación ecohidrológica

- **Cuantificación.** Diseño de actuaciones selvícolas y subsiguiente **estimación cuantitativa del SE** u objetivo establecido

Optimización multiobjetivo

- DSS C.A.F.E.



3. Experiencias previas en España

Sierra Norte Madrid: Vocación del territorio

ASHPE (complejo S-P-A, + elementos mesoescala)

Atmosfera

- Variables Meteo
- Clima
- Índices fitoclim.
- RCP's

Suelo

- Geología/litología
- Hidrogeología
- Fisiografía
- Suelo

Hidrología

- Morfología cuenca
- Aguas superficiales
- Aguas

Planta

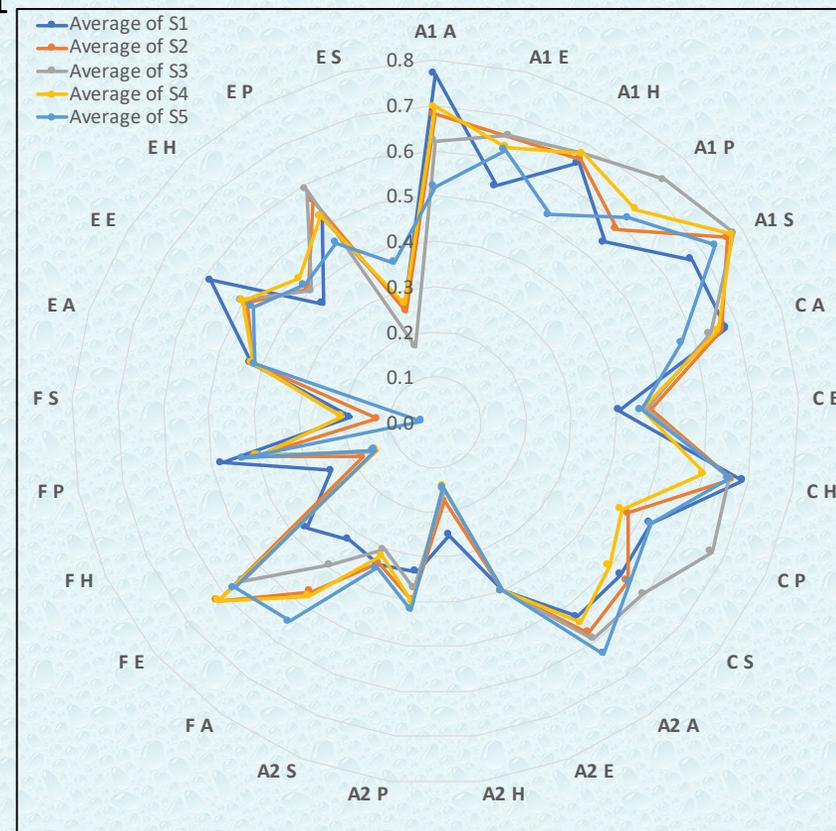
- Vegetación (real/pot.)
- Biodiversidad
- Estado forestal
- Ecohidrología
- Perturbaciones

Economía

- Socio-Econom
- Figuras protección
- Valor paisaje
- Políticas sectoriales
- Población

4-6 indicadores por

subsistema
 5 ind x 5 subsist x 4 diferentes
 100 ind para cada subcuenca según



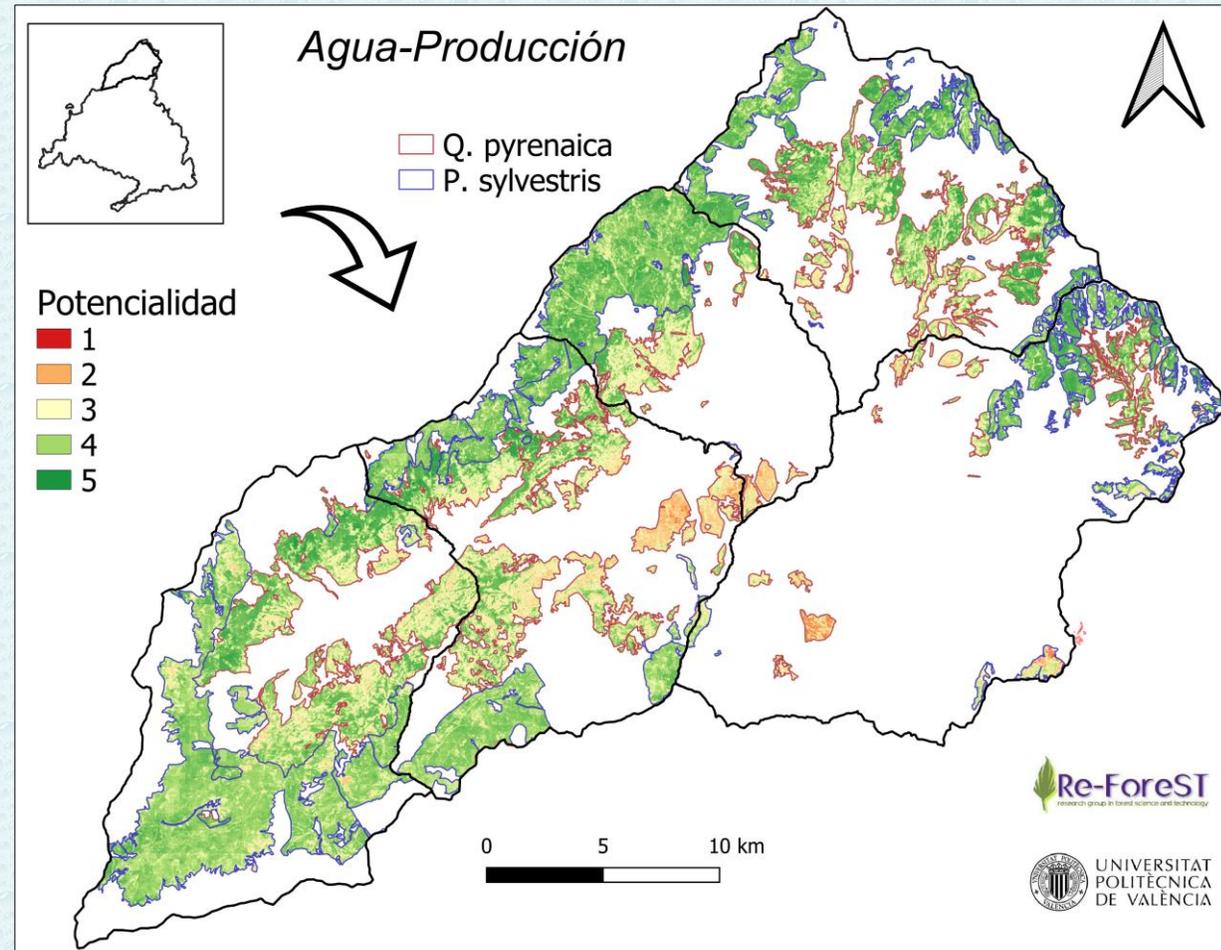
	C	A _{pr}	A _{cal}	F	E
TOTAL	0.56	0.66	0.38	0.36	0.43

SE DE INTERÉS

3. Experiencias previas en España

Potencialidad masas forestales para producción de agua: Cuenca → Terreno forestal → bosque

MAPA DE IDONEIDAD

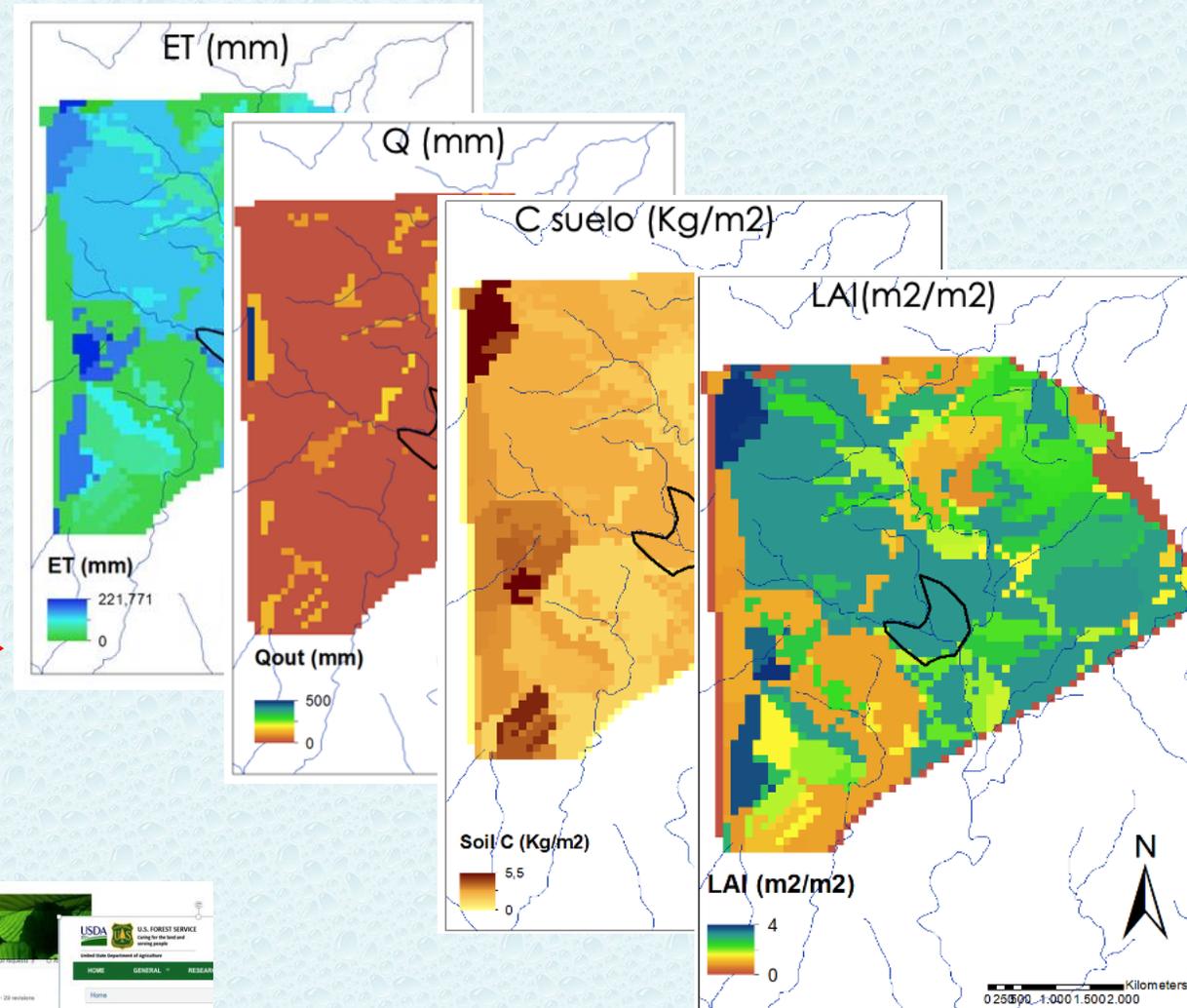
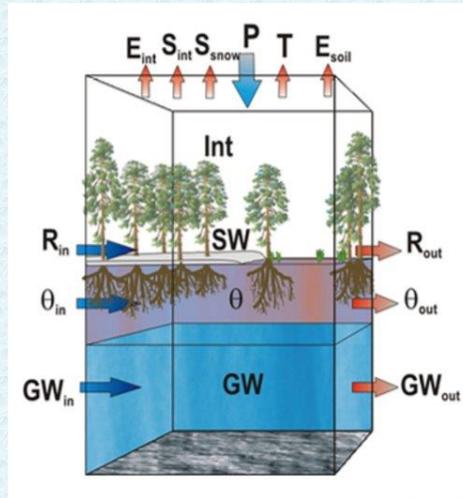


Subcuenca	% sobre supf total	
	Supf. Potencialidad -4	Supf. Potencialidad -5
S1	21 (12)	27 (17)
S2	18 (6)	21 (12)
S3	13 (6)	26 (22)
S4	14 (4)	22 (11)
S5	4 (2)	6 (5)

- S3: > 2200 ha con potencialidad 5 en pinar
- → impacto potencial > 2hm³/año (aumento 6% reserva hídrica de Puentes Viejas).
- X 2 si se incluye pinar+melojo en potencialidades 4 y 5.

3. Experiencias previas de gestión forestal ecohidrológica en España

Simulación ecohidrológica
Cuantificar el efecto de la
GF



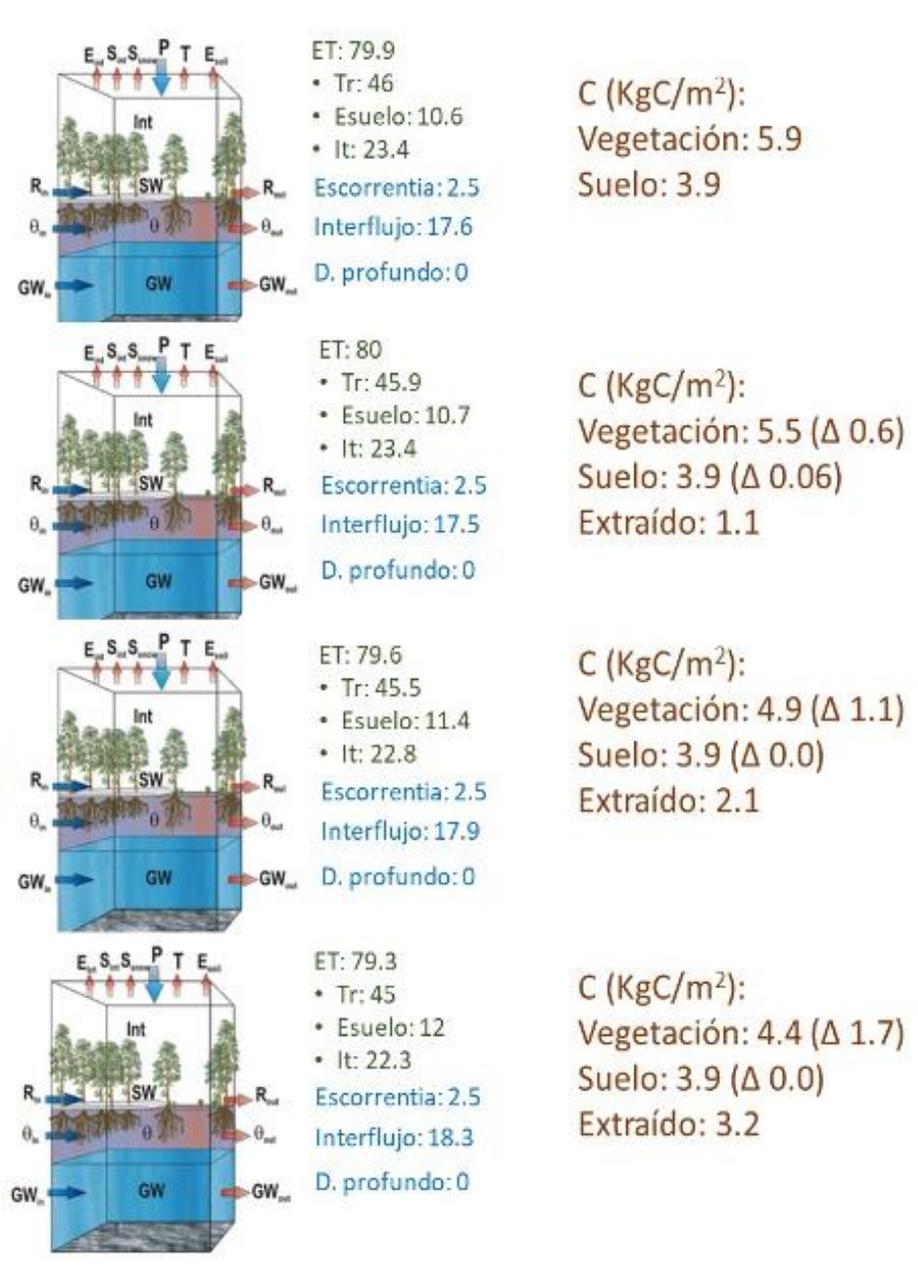
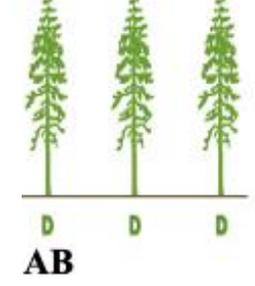
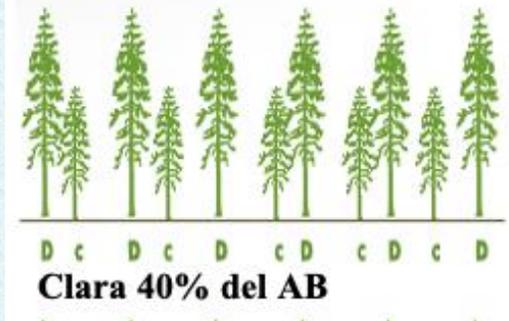
- Simulación ecohidrológica :
 - Balance hídrico del suelo
 - Uso agua y fotosíntesis



3. Experiencias previas en España

Simulación ecohidrológica
 Cuantificar el efecto de la GF

Datos experimentales!!

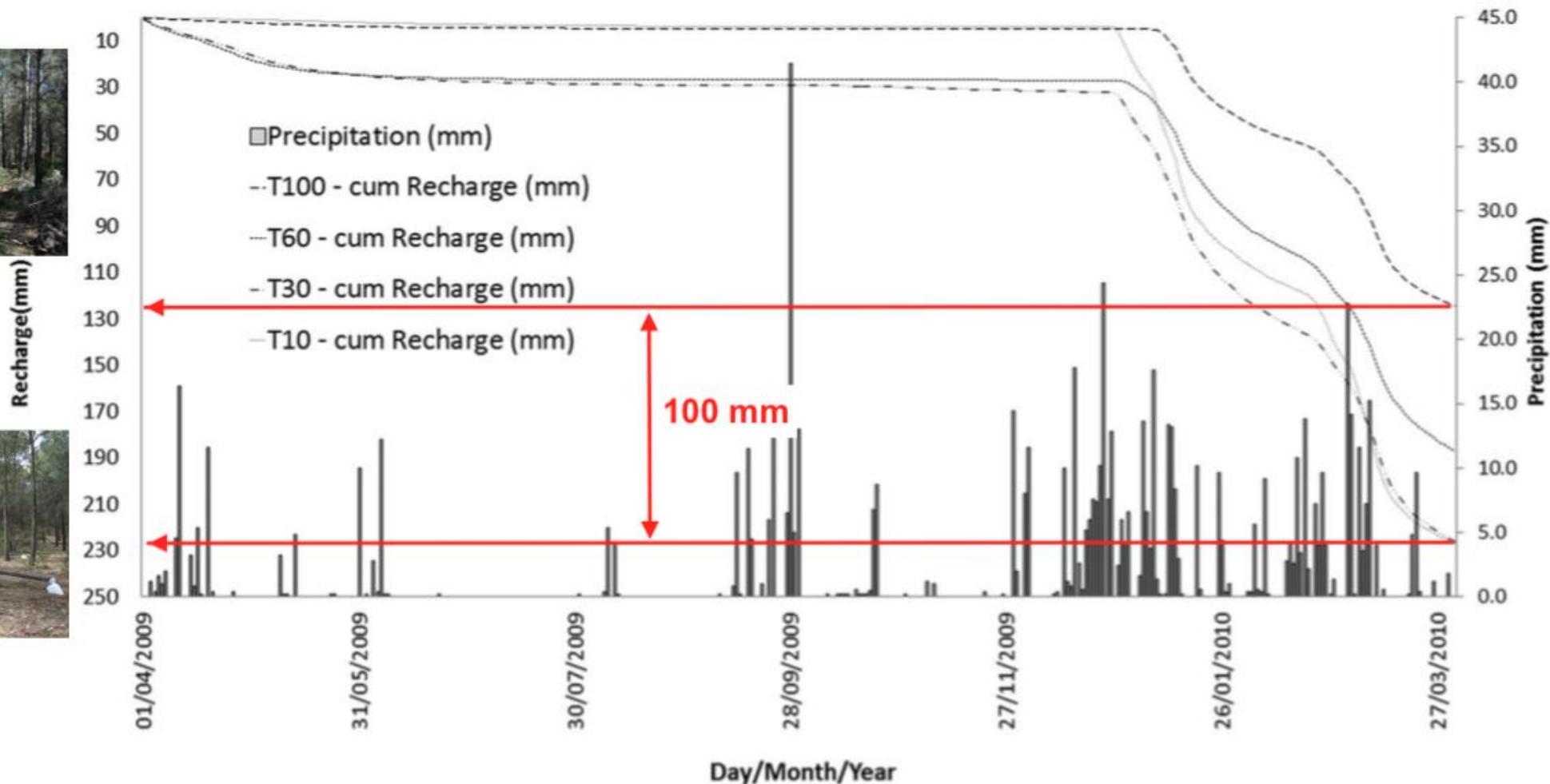


C (KgC/m²)	Vegetación	Incrto. biomasa en 10 años	Suelo	Incrmt. suelo en 10 años	Neto año 10
No gestión	5.9	0 (0%)	3.9	0.0 (0%)	9.8
Clara del 20%AB	5.5	0.6 (12%)	3.9	0.06 (1.5%)	10.5
Clara del 40%AB	4.9	1.1 (29%)	3.9	0.0 (0%)	10.9
Clara del 60%AB	4.4	1.7 (63%)	3.9	0.0 (0%)	11.5

3. Experiencias previas de gestión forestal ecohidrológica en España

Valencia interior: Plantaciones maduras estancadas Hunde (2009-2011)

(del Campo ET AL. 2014, Gracia-Prats et al. 2016)



3. Experiencias previas en España

* Vlcia. Ayuda reg.

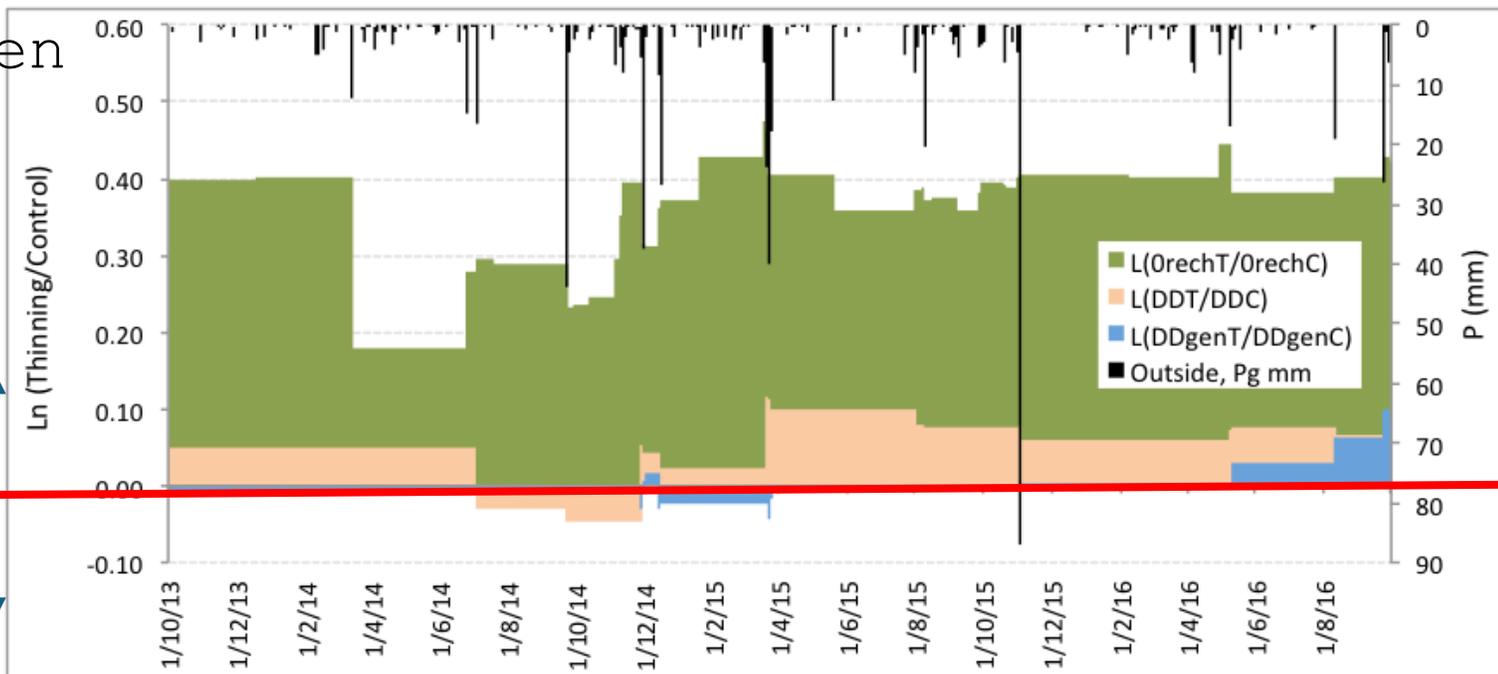
PIHA **SEMIÁRIDO (3 años) Bsk**

→ **DOMINA RECARGA**

θ_{Suelo}

> Con
Clara

> Control



* Vlcia. Resalveo

QUIL **SECO SUBHUMEDO Csa**

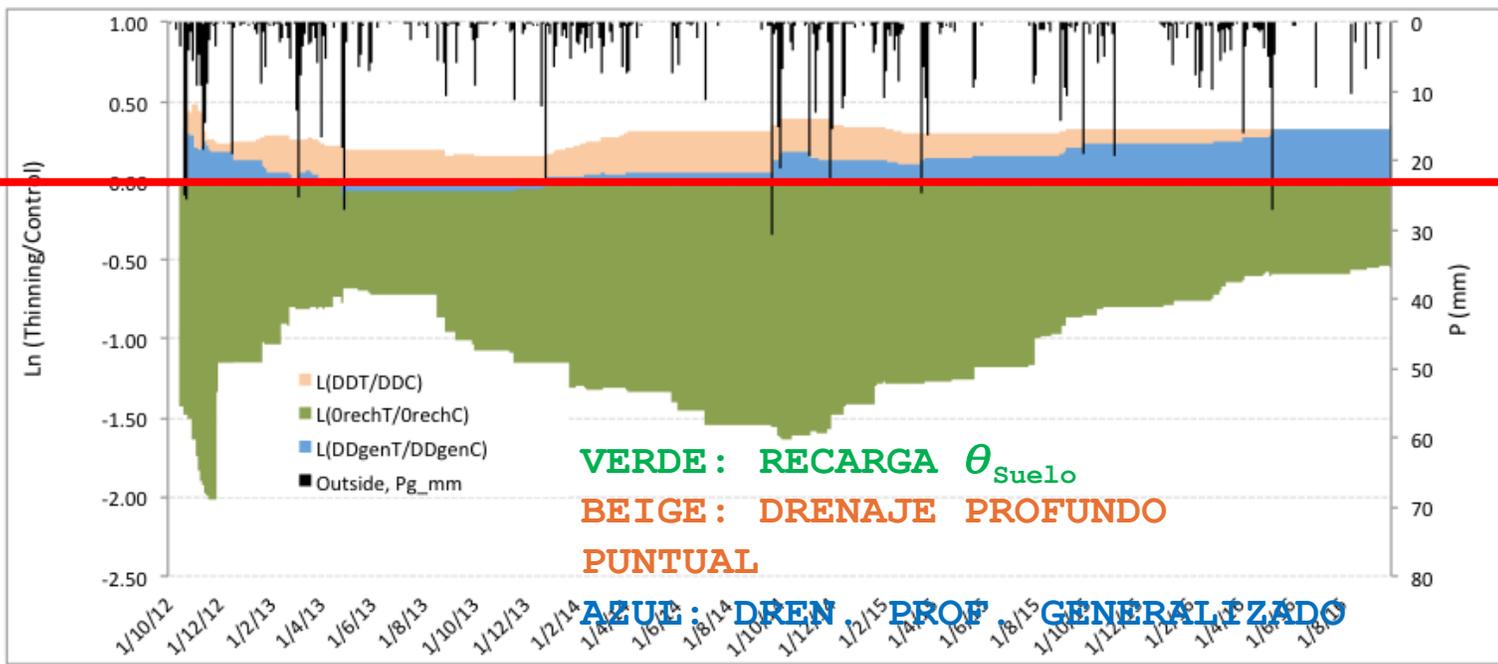
(4 años)

→ **DOMINA DRENAJE**

PROFUNDO

> Con
Clara

> Control



VERDE: RECARGA θ_{Suelo}

BEIGE: DRENAJE PROFUNDO

PUNTUAL

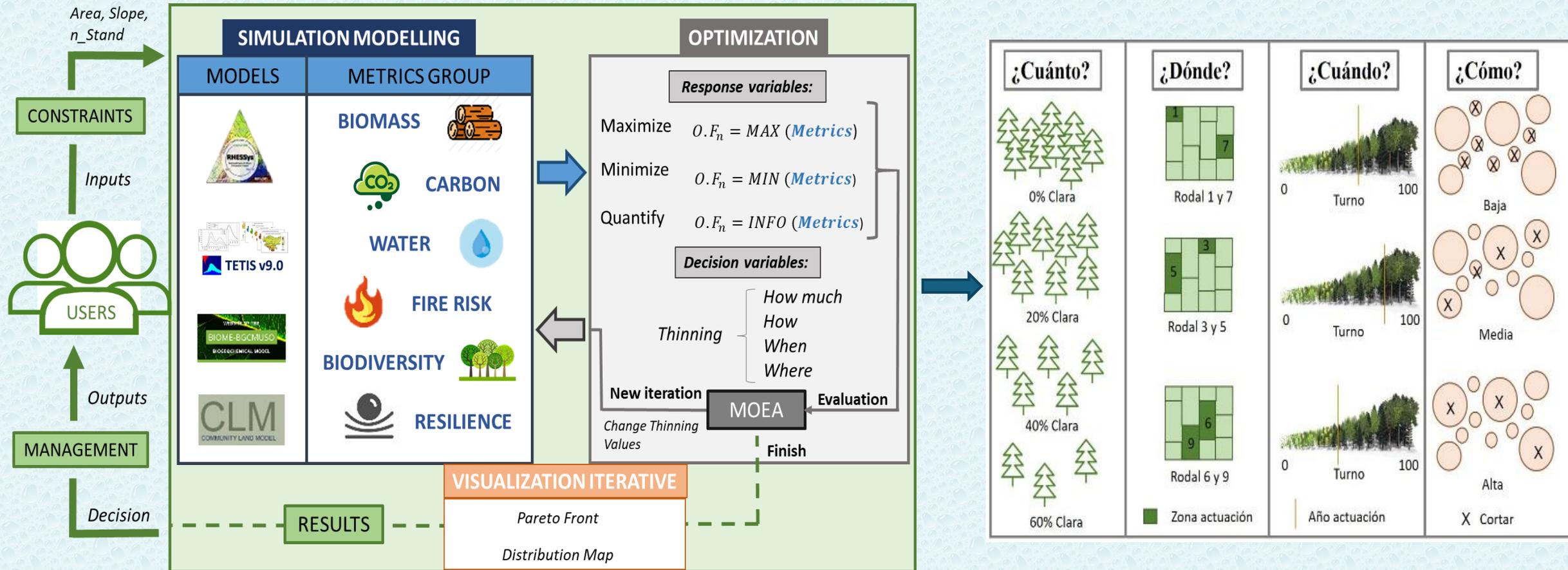
AZUL: DREN PROF GENERALIZADO

- * Diferencias en P
- * Dinámica temporal
- * Patrón distinto HS

3. Experiencias previas en España

Optimizar Múltiples S.E. simultáneamente

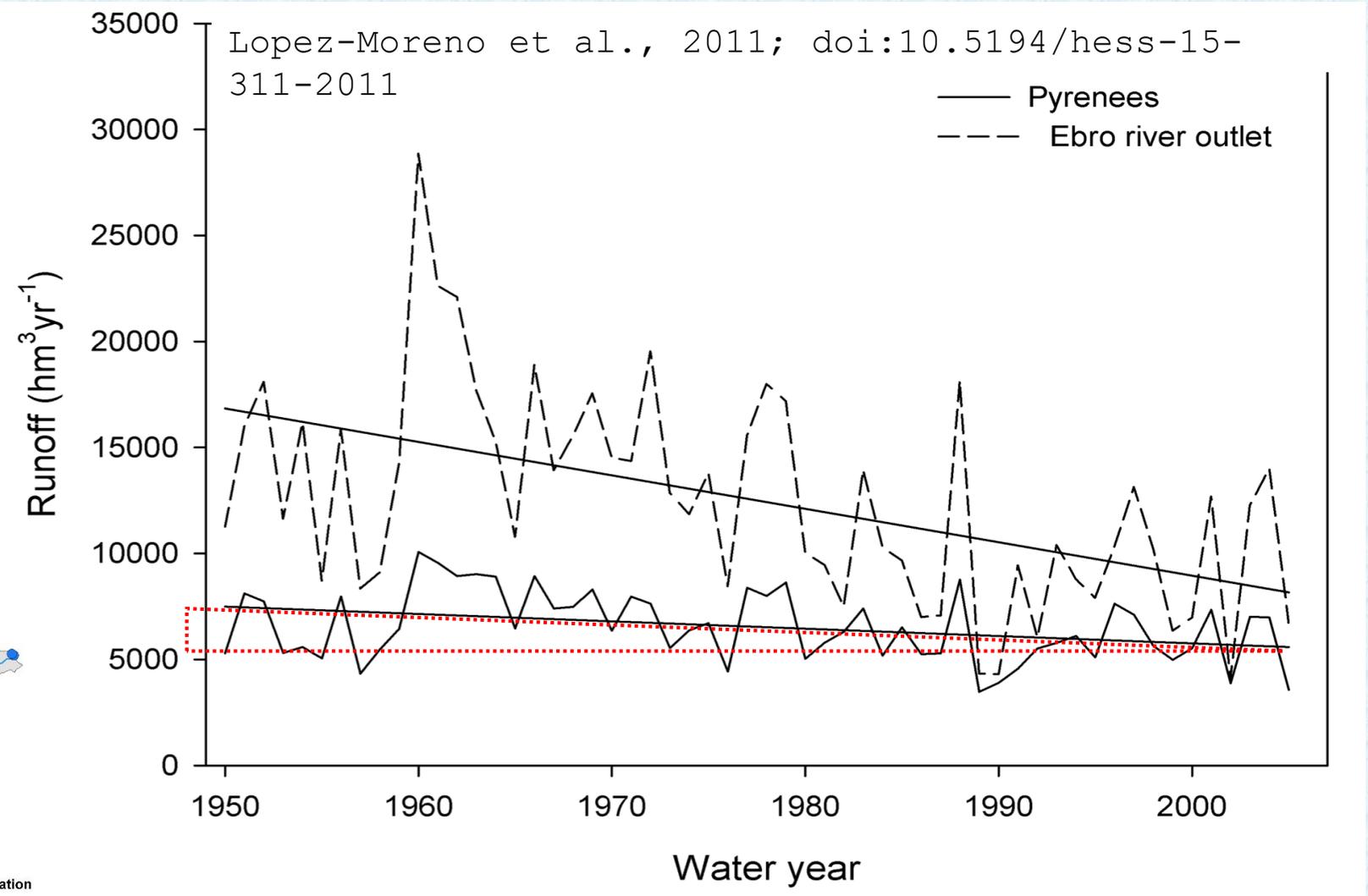
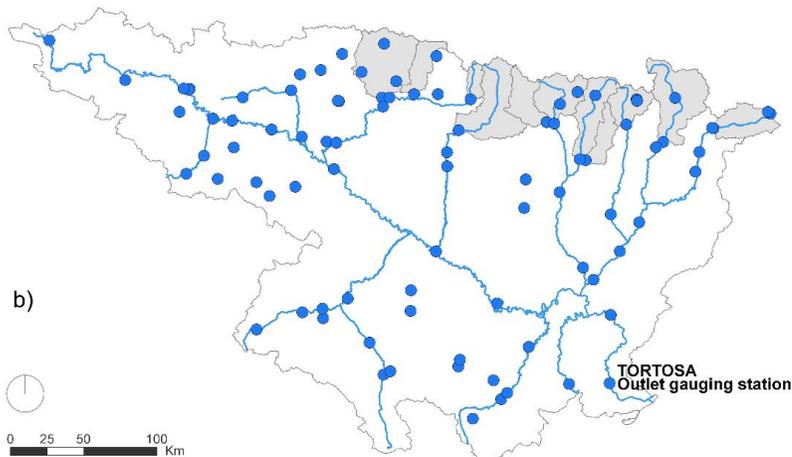
DSS C.A.F.E.



4.- Posibilidades provisión de agua en la cuenca del Ebro

Situación:

- Entre 1950-2006 se perdieron $> 2000 \text{ hm}^3/\text{año}$ en cabeceras pirenaicas
- que no se explican sólo por clima

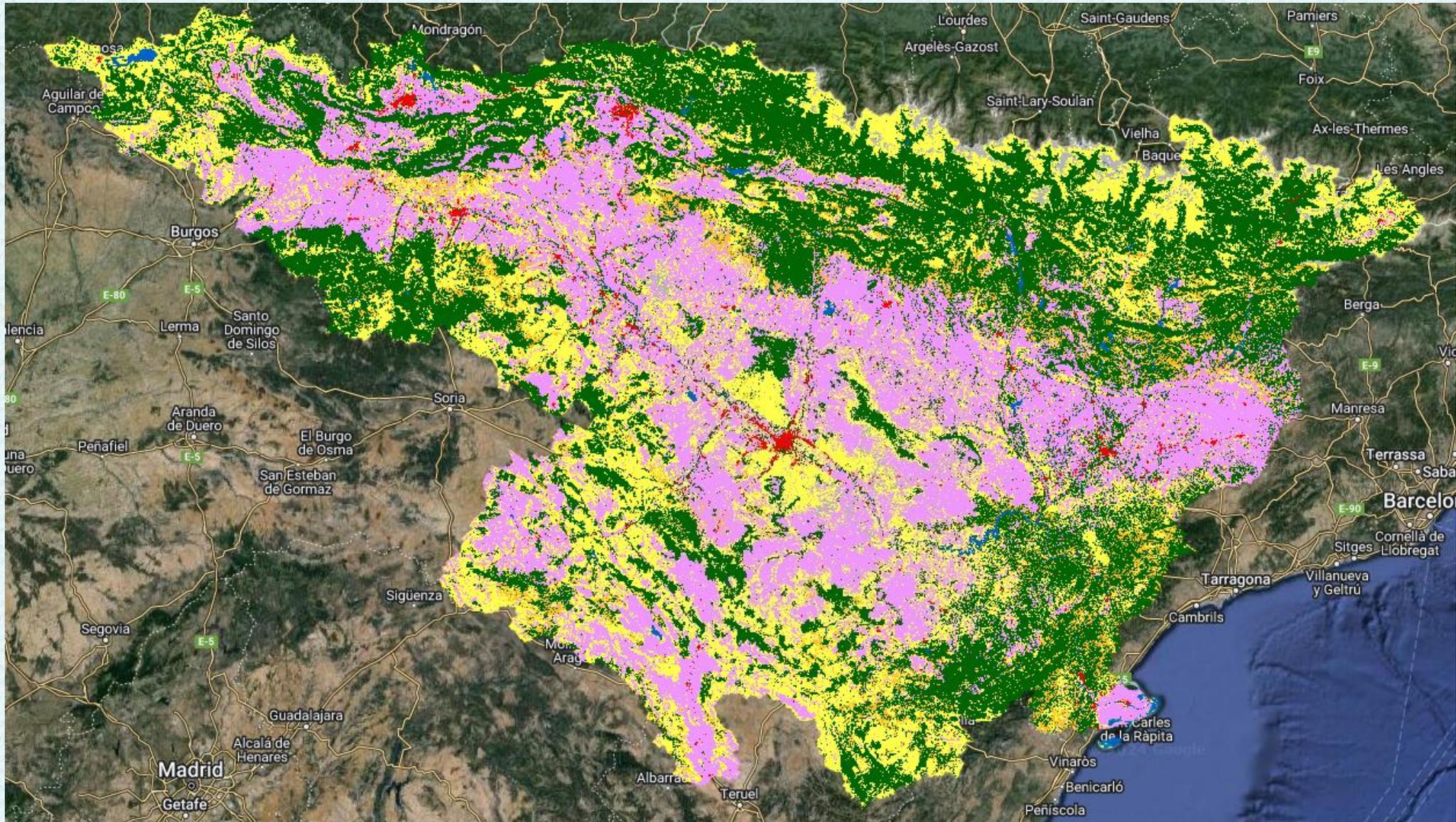


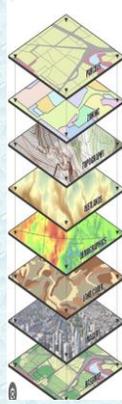
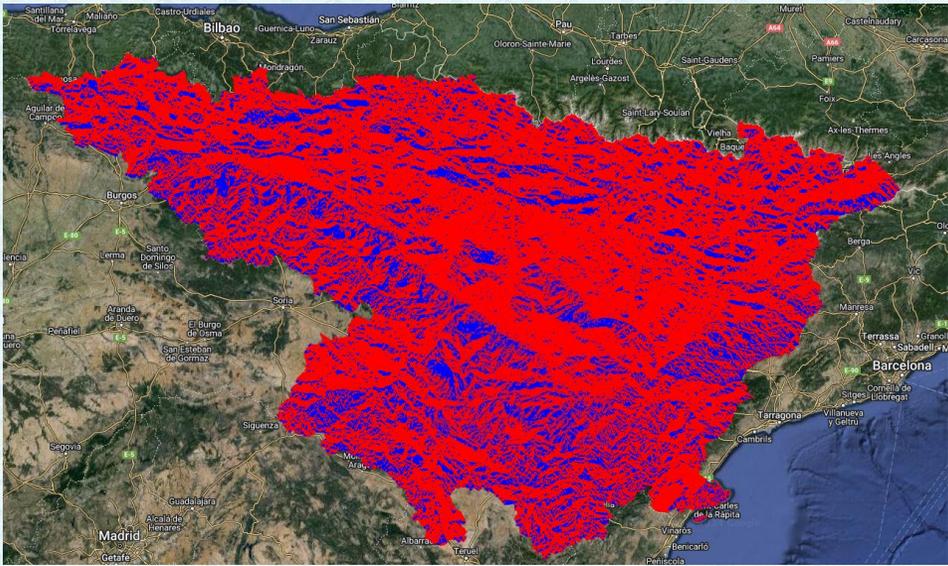
4.- Posibilidades provisión de agua en la cuenca del Ebro

Cobertura:

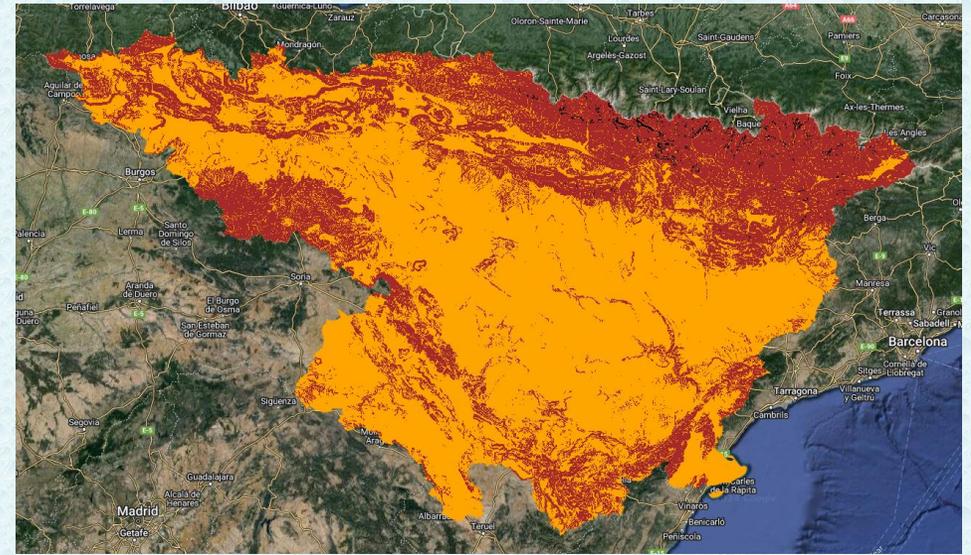
■ Arborea

- 2.882.280 ha
- 33,6% de la cuenca

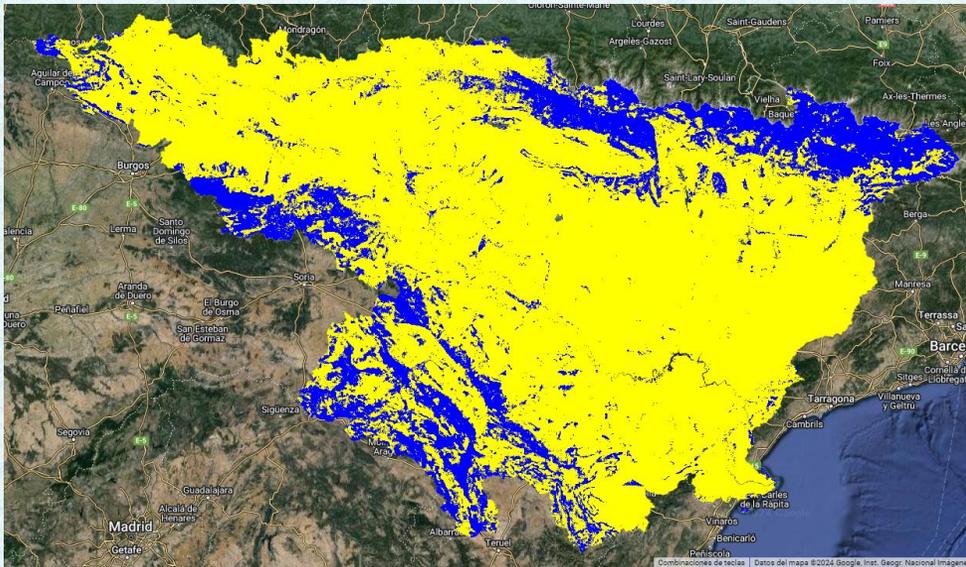




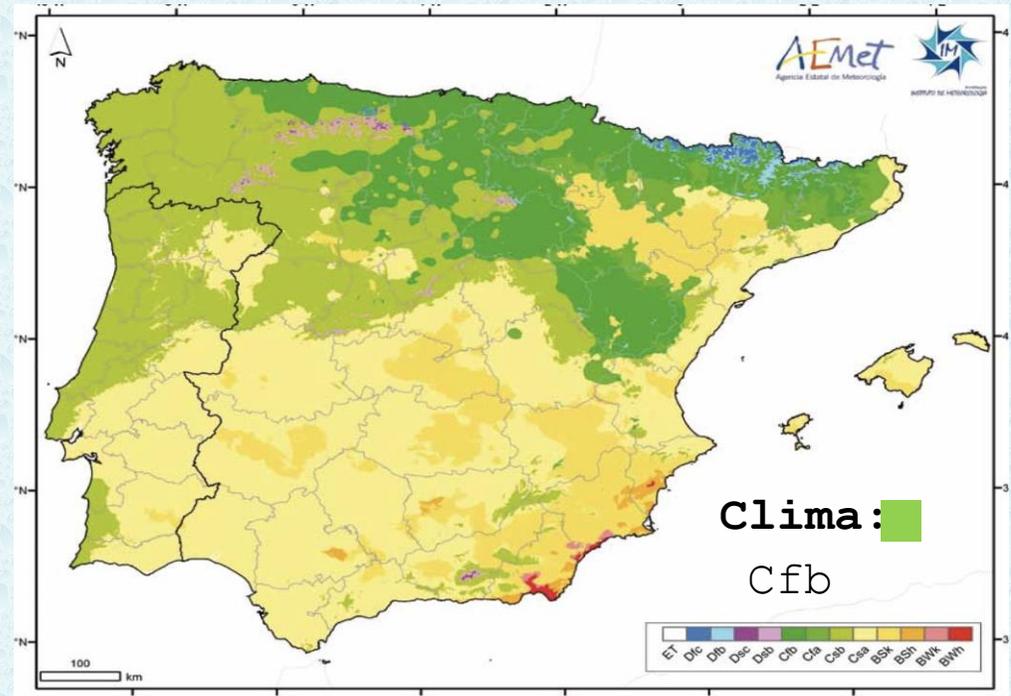
Orientación: ■ NO-NE



Pendientes: ■ 5-30%



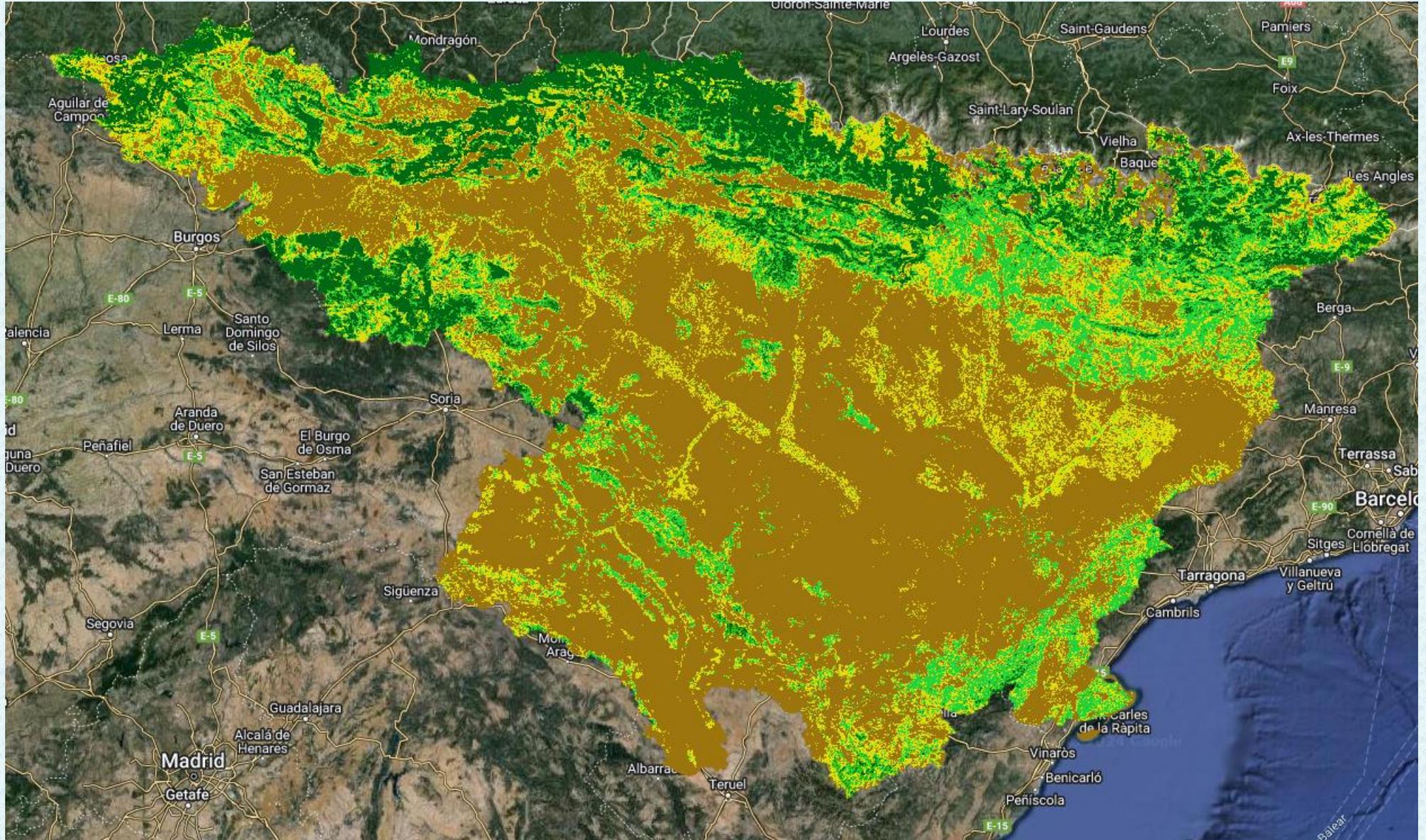
Textura: ■ >45% arena



4.- Posibilidades provisión de agua en la cuenca del Ebro

FCC:

■ >75%



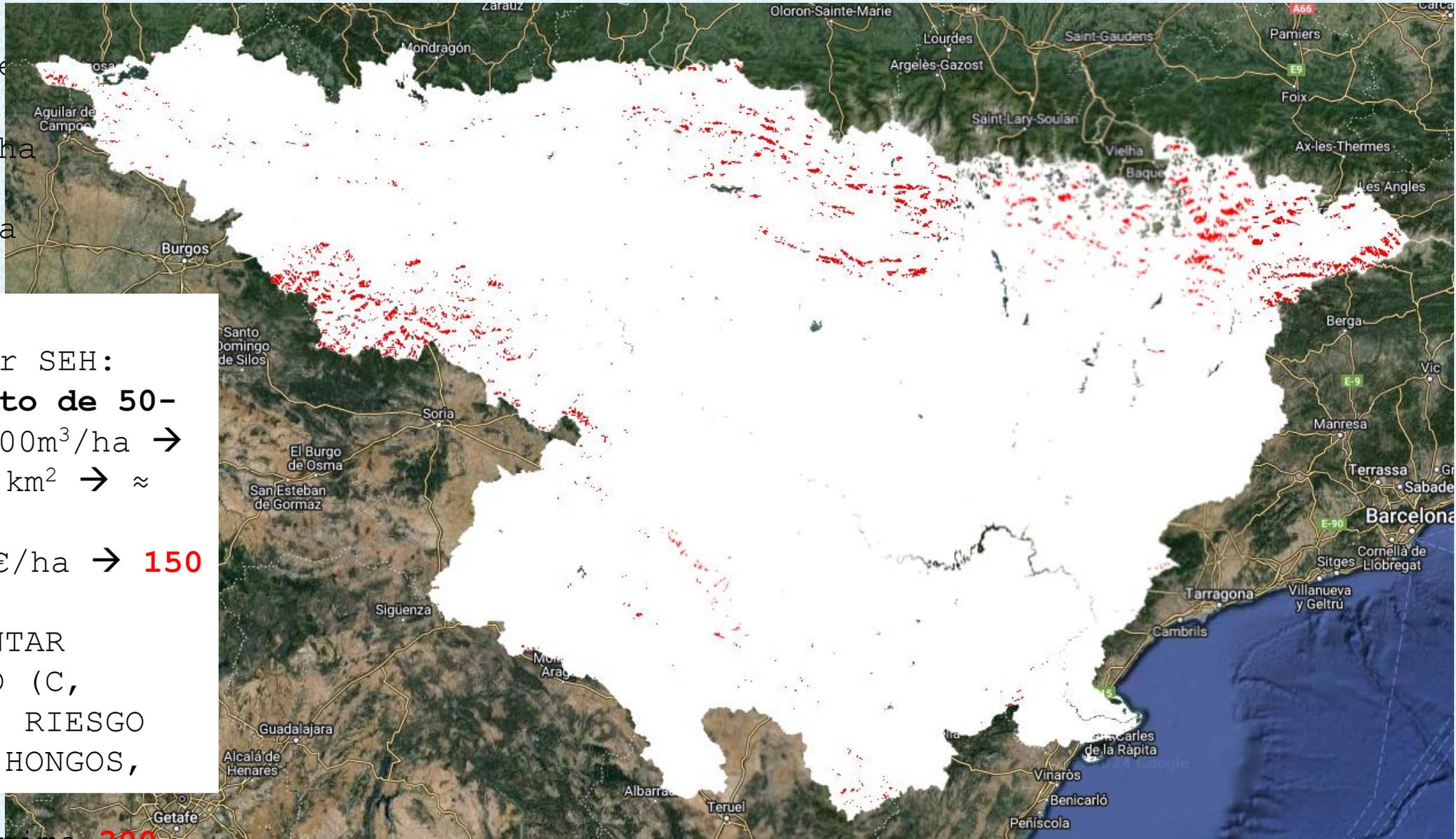
4.- Posibilidades provisión de agua en la cuenca del Ebro

Zona intere

- $\approx 190\ 000$ ha
- ≈ 2000 km²
- 2,2% cuenca

- Indicador conservador SEH:
aumento neto de 50-75 mm (o $500\text{m}^3/\text{ha} \rightarrow 0.05\ \text{hm}^3 / \text{km}^2 \rightarrow \approx 100\ \text{hm}^3$)
- € $\rightarrow 1500$ €/ha \rightarrow **150 M€**

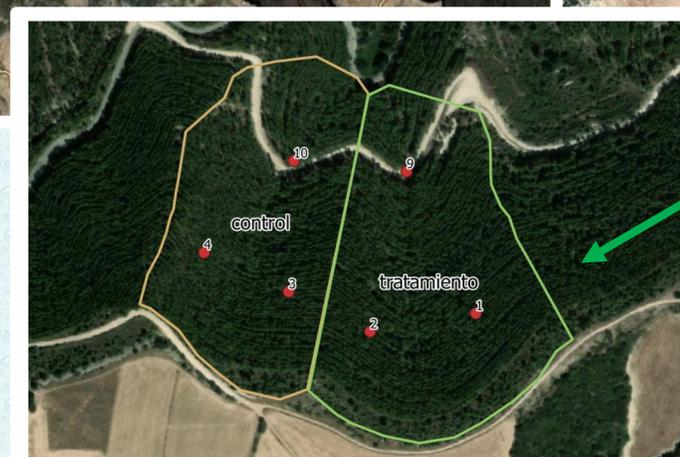
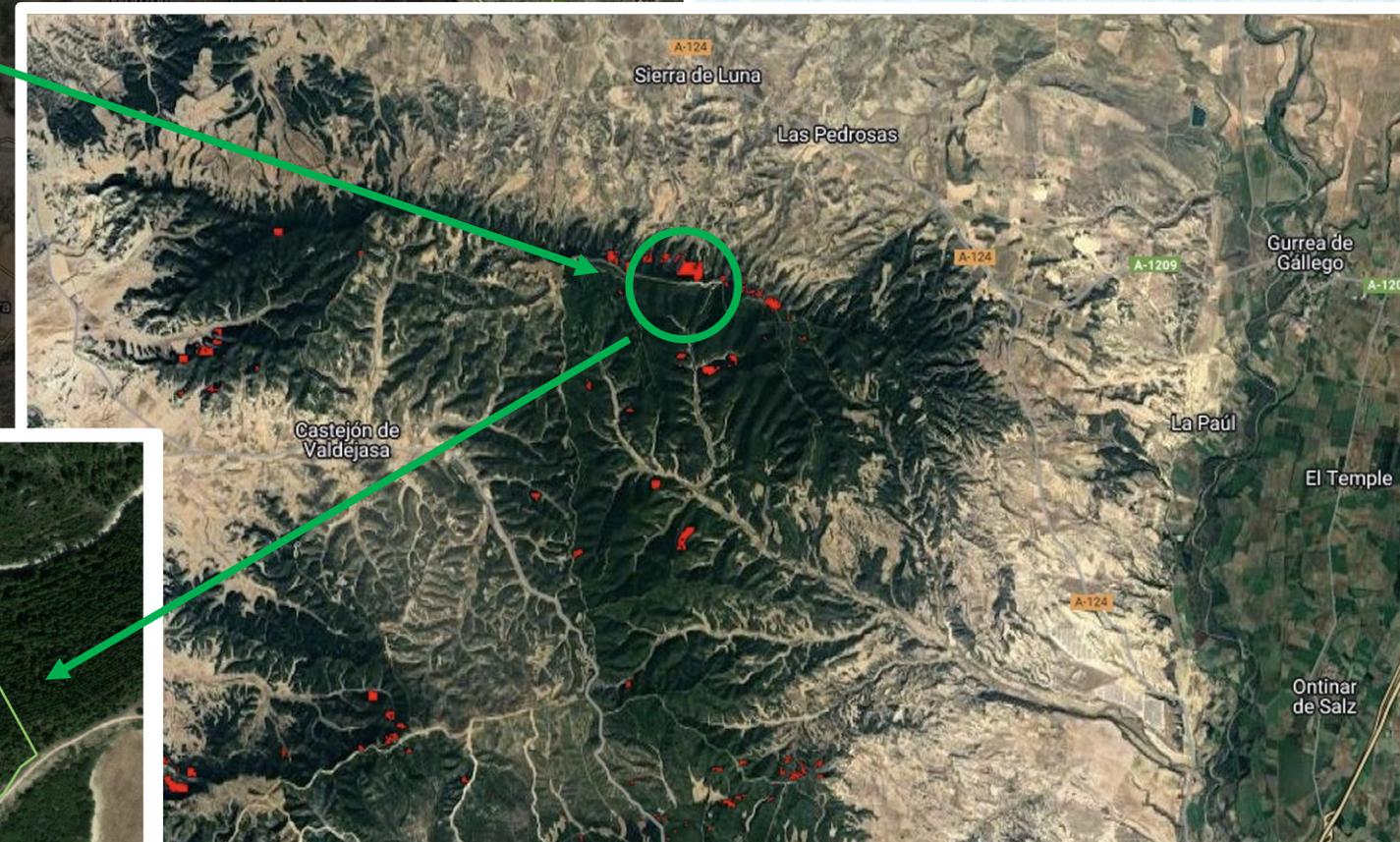
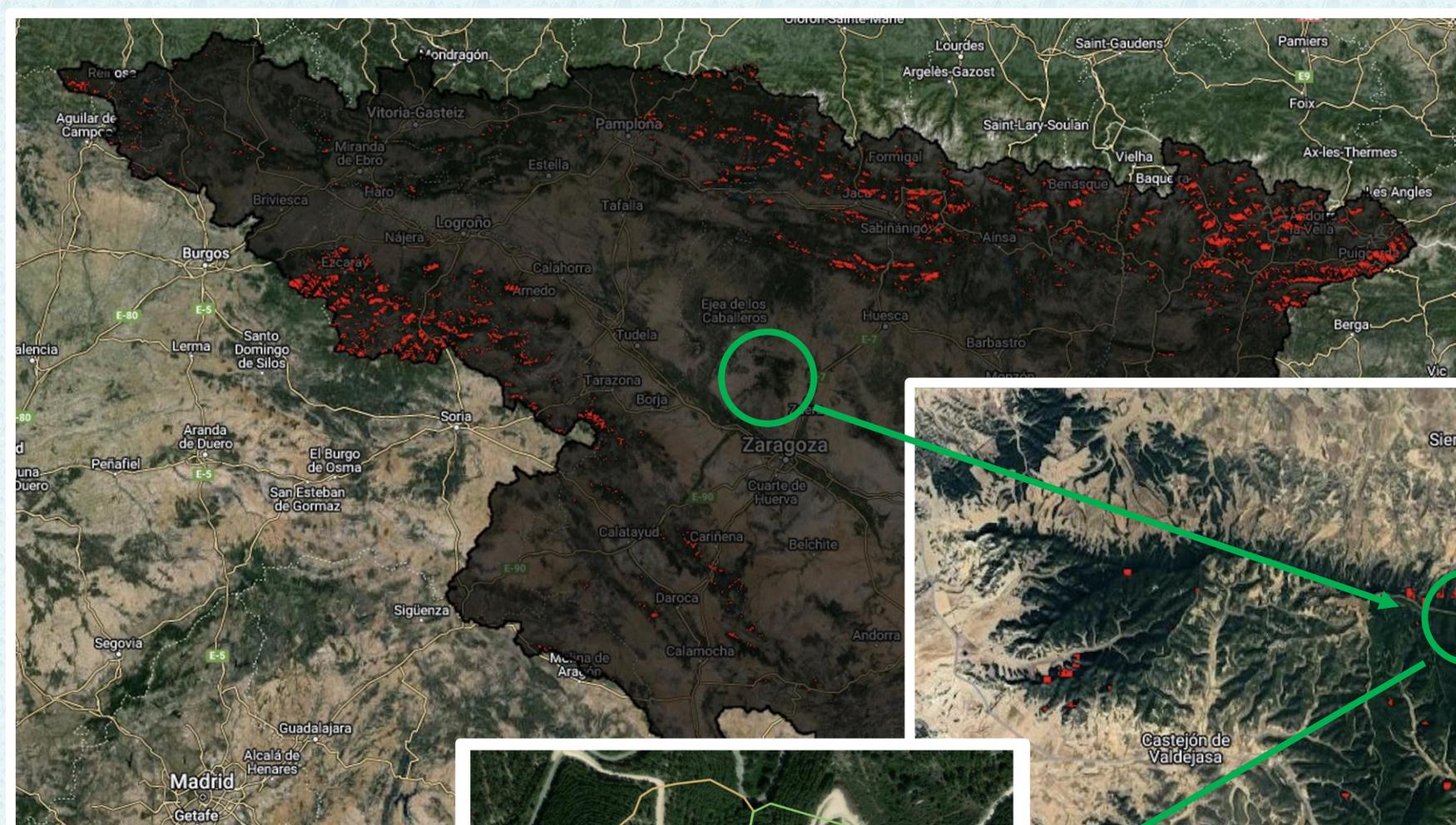
- SIN CONTAR RETORNO (C, MADERA, RIESGO FUEGO, HONGOS, ETC.)



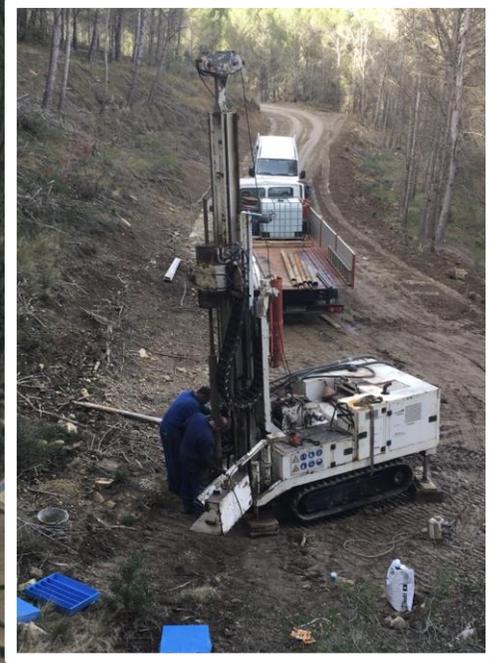
• Embalse máxima **300**



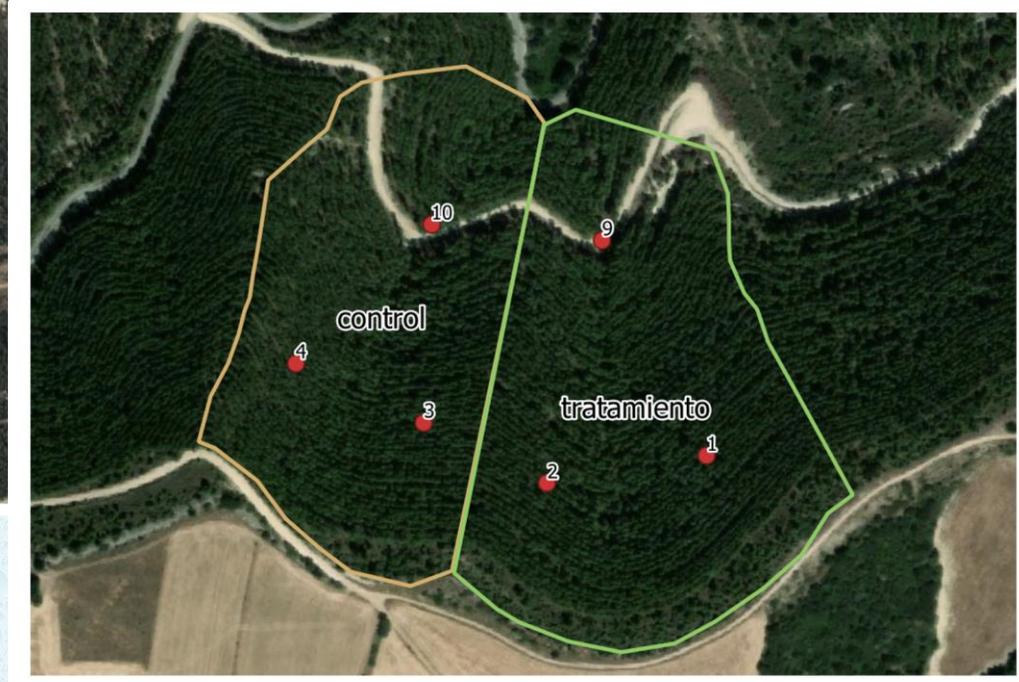
Clima semiárido
(Zaragoza, PIHA)



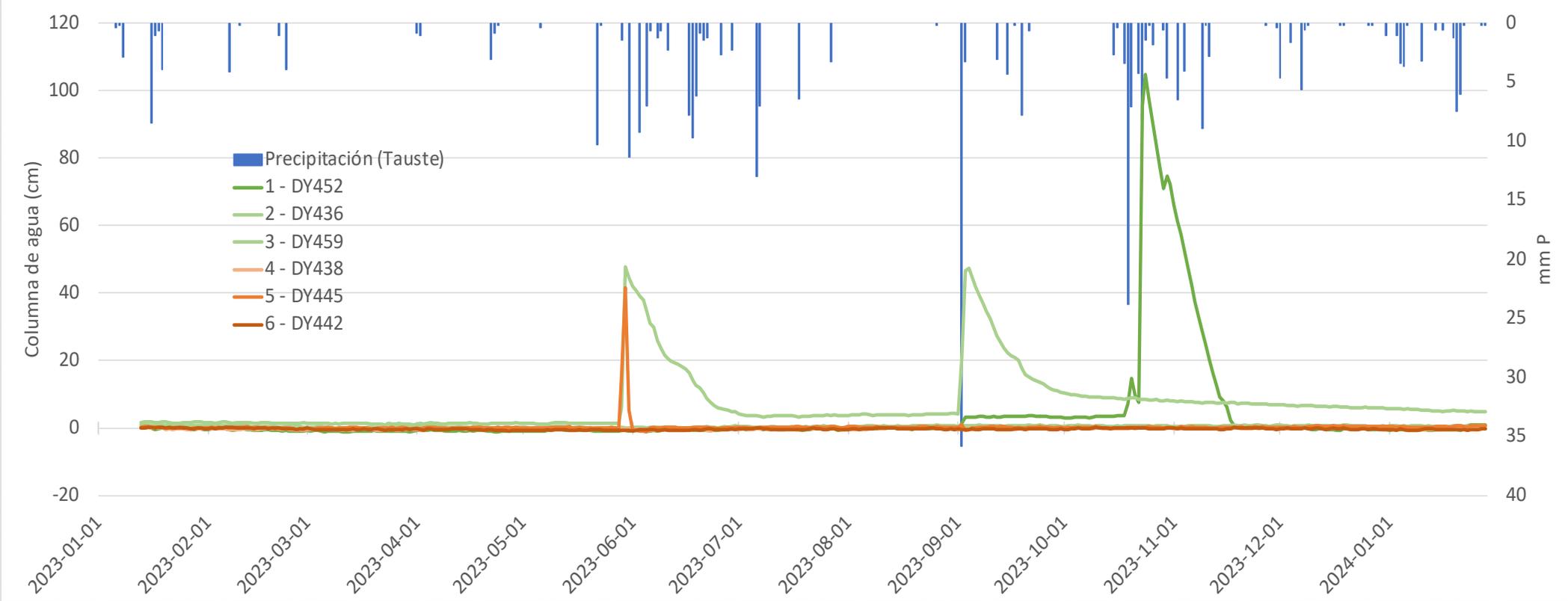
Posibilidad
es
provisión
de agua en
la cuenca
del Ebro



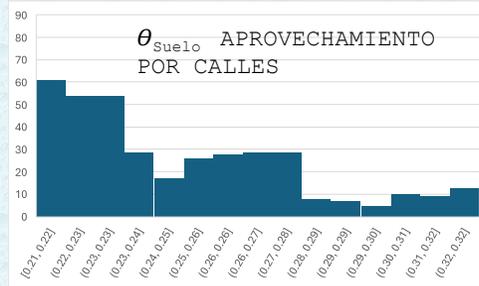
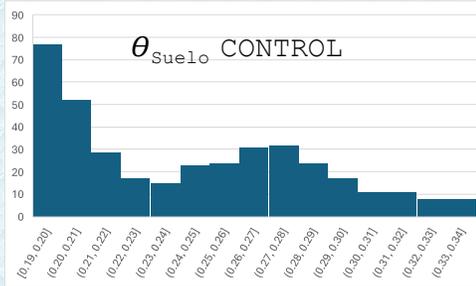
Clima
semiárido
(Zaragoza,
PIHA)



4.- Posibilidades cuenca Ebro (PARA TERMINAR) : Efectos locales Selvicultura sobre el agua (tratamientos lineales)



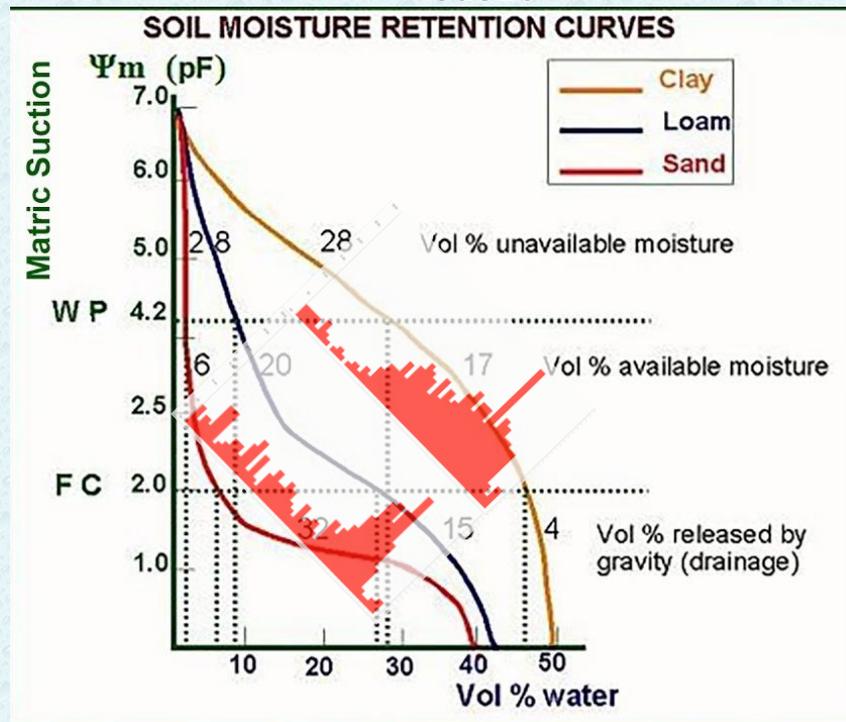
- Clima semiárido (Zaragoza, PIHA). Efecto humedad suelo claras x calles



5.- Conclusiones

P.T.G.F.S.

1. **Contextualizar** agua con otros BB. y SS. EE. del monte
2. **Priorizar funciones hidrológicas** según tipo suelo, fisiografía, etc.
 - Régimen θ_{Suelo}



3. **Indicadores (proxy)** para la función elegida y valor actual sobre **rango o potencial**

- θ_{Suelo} , Ks, Inf., Perc., biomasa, ET, transp., intercept., LAI, Q_{mx} , Q_{low} , Esc., etc.

4. **Definir valor objetivo indicadores**

- Maximizar, optimizar, minimizar, etc...

5. **Regular estructura acordemente = f(indic.)**

6. **Medir / Simular (para T) indicador**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural



BOSQUES Y AGUA

INNOVACIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS MONTES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL AGUA AZUL



Confederación
Hidrográfica del
Ebro.

Celebración Día
Mundial del Agua.
Zaragoza. 22-mar-2024

Agradecimientos:

Grupo Re-ForeST (UPV) y
en especial a Javier
Érez, Laura Blanco y L.
Arnal

ADAPT-ALEPPO (LIFE20
CCA/ES/001809

RESILIENT-FORESTS
(LIFE17 CCA/ES/000063)

SALAM-MED (PRIMA)
Antonio del Campo
(ancamga@upv.es)