



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



departamento de ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**dihma**



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural



# Sostibilidade e servizos ecosistémicos: O manexo da auga e o tratamento dos mananciais

ENCONTRO CIENTÍFICO-TÉCNICO  
TRANSFRONTEIRIZO  
Montes de piñeiro pinaster

MELLORAR A RESILIENCIA E A XESTIÓN  
FORESTAL

19 E 20 DE MARZO 2024  
HOTEL BALNEARIO DE MONDARIZ.  
MONDARIZ-BALNEARIO

**Antonio del Campo**  
([ancamga@upv.es](mailto:ancamga@upv.es))



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



departamento de ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**dihma**



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural



## Contenidos

### 1.- Aspectos generales Bosque-Agua

Funciones Hidrológicas contrapuestas

La plétora de factores

Rol estructura forestal y régimen humedad del suelo

### 2.- Plantaciones y agua

Efectos globales de la Gestión Forestal

### 3.- Efectos regionales/locales de la Selv. sobre el agua

Efectos locales en PIPR: topografía, suelo, selvicultura

Efectos regionales: Clima

Efectos tratamientos lineales

### 4.- Tratamiento correcto... conclusiones

**Antonio del Campo**  
([ancamga@upv.es](mailto:ancamga@upv.es))

# 1.- Ideas generales del manejo del agua forestal

CICLO HIDROLÓGICO ↔ FUNCION HIDROLÓGICA

PROCESOS

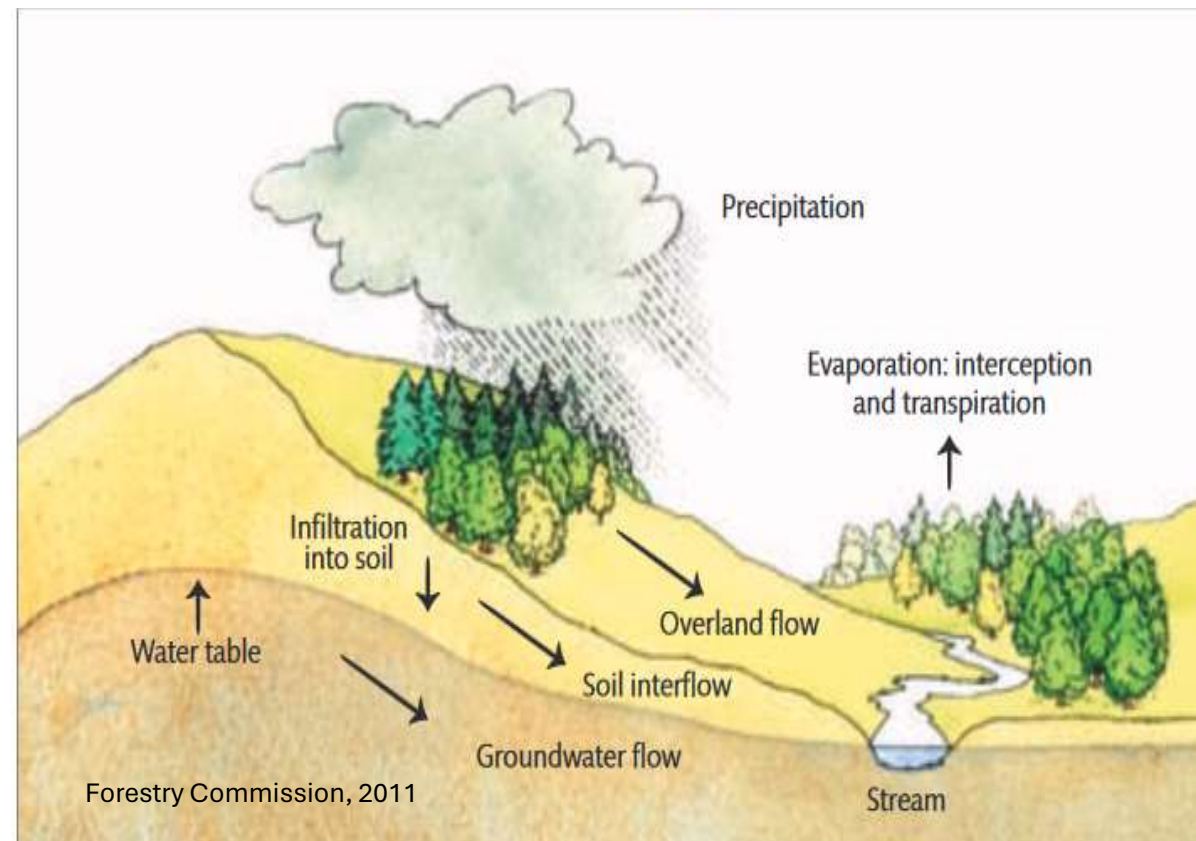
↔

SERVICIOS

- **Funciones hidrológicas del bosque:**

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

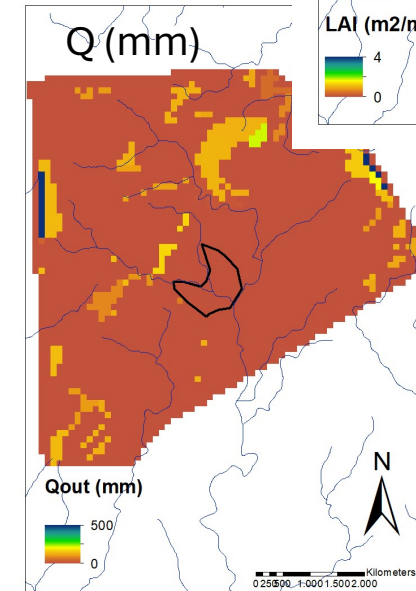
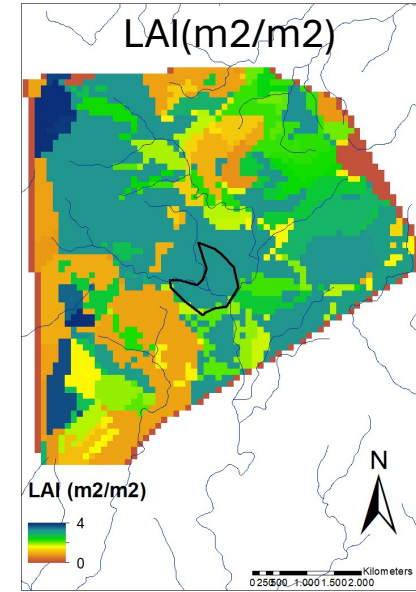
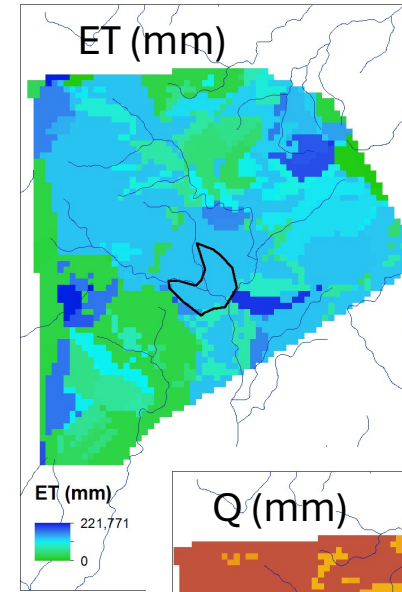
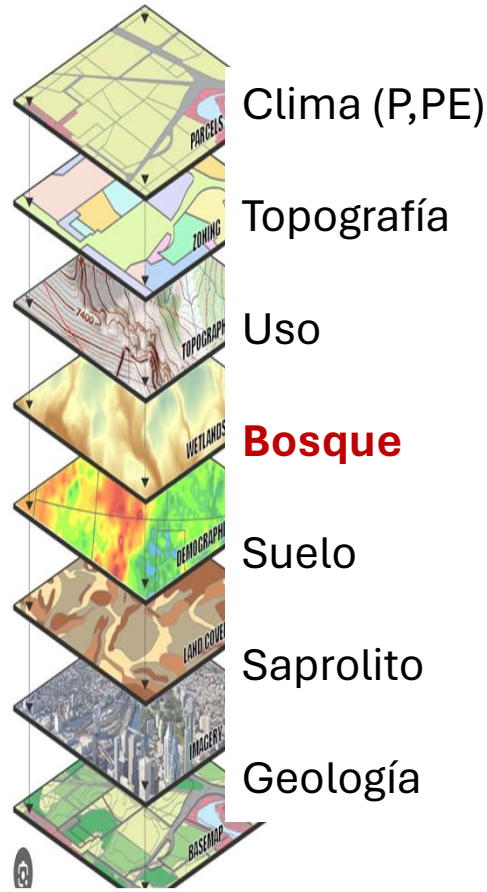
- ¿qué funciones interesan?





# Funciones hidrológicas = f(múltiples variables)

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



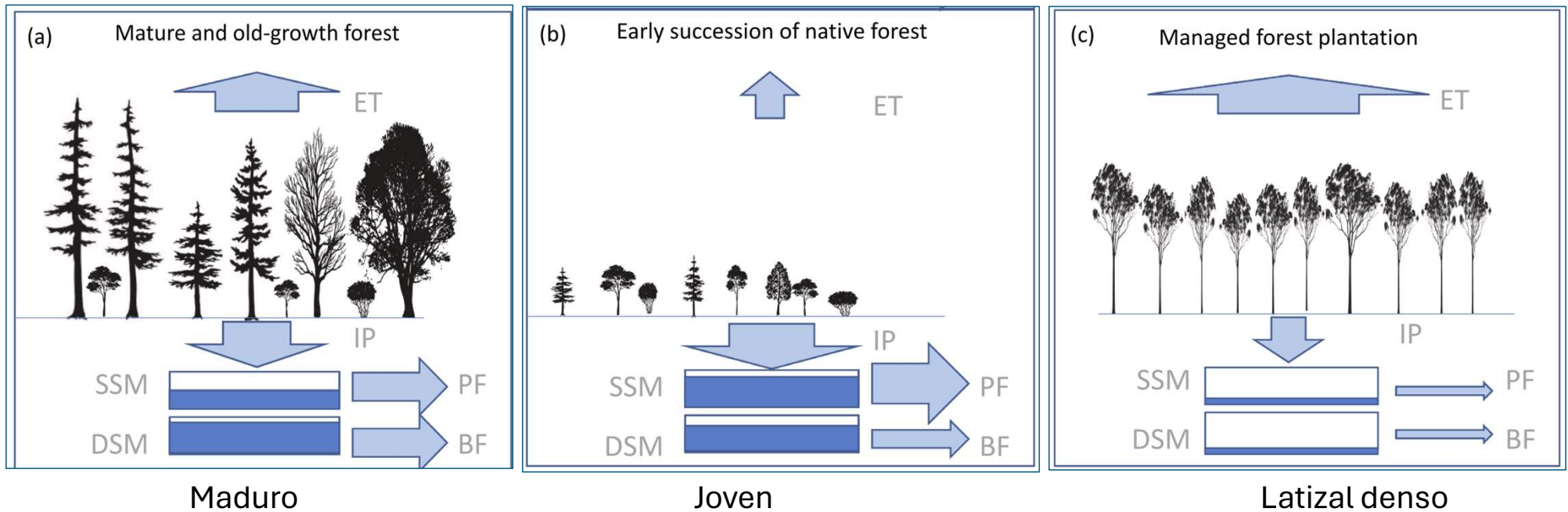
# Funciones hidrológicas: **Estructura y madurez bosque**

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

Jones et al., 2022

Indicadores funciones:

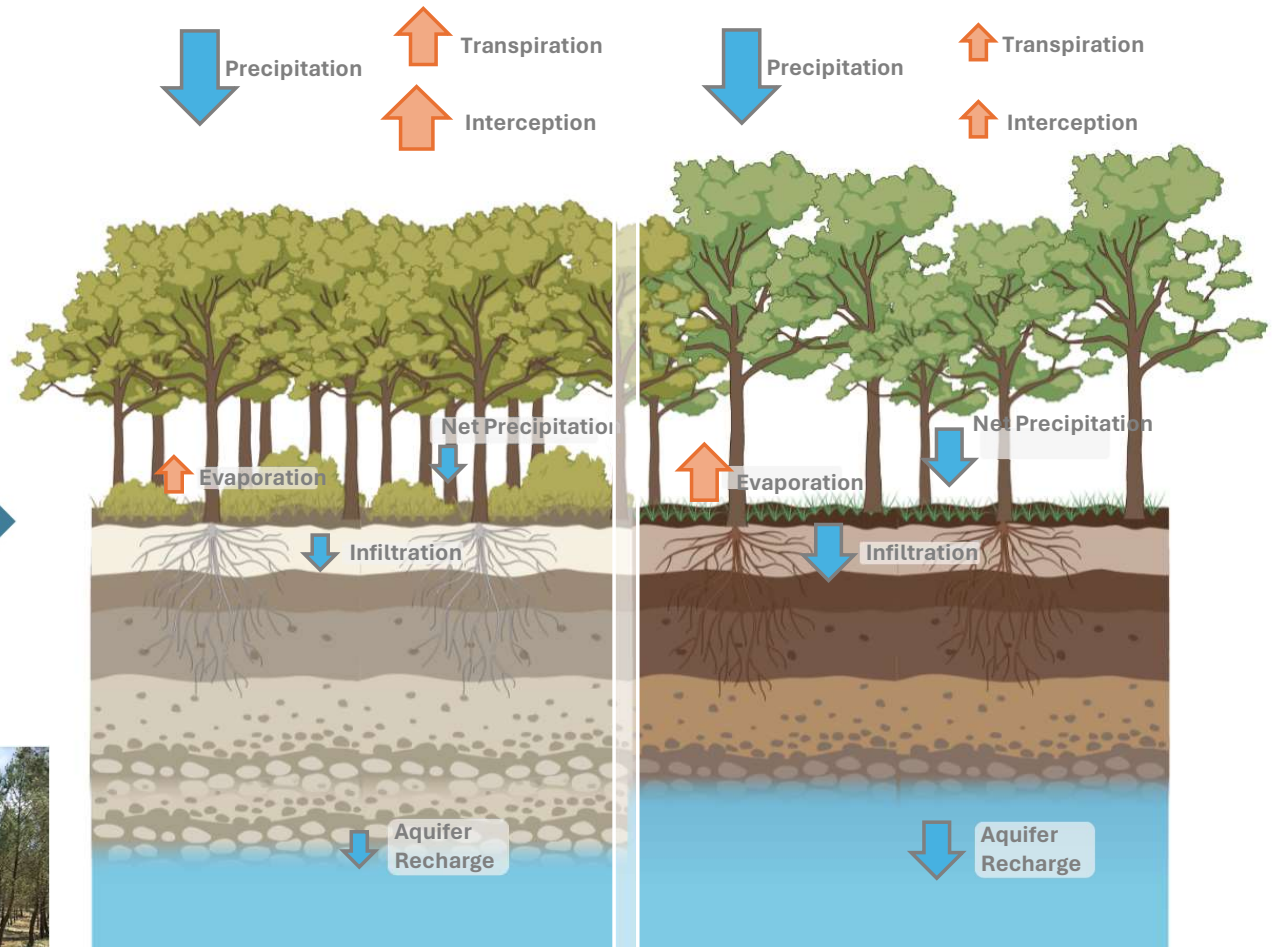
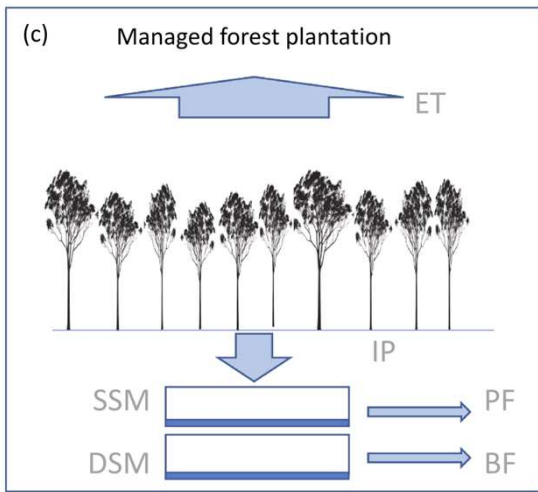
- **Retención:** SM (agua suelo), IP (infiltración percolación), biomasa
- **Uso:** ET (T & It), área foliar
- **Provisión:** PF, BF (escorrentías, caudales), IP



# Estructura bosque vs. Funciones hidrológicas ¿qué funciones interesan?

## Selvicultura ecohidrológica

Latizal denso

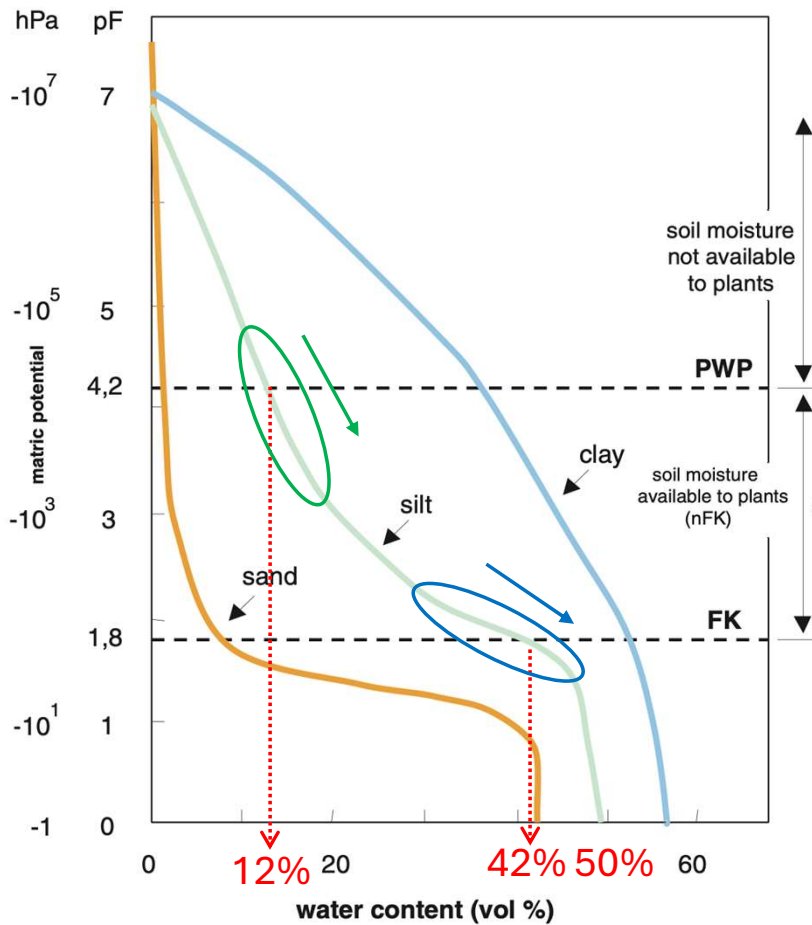


No Clareado o control

Clareado



# Régimen humedad del suelo ( $\theta_{\text{Suelo}}$ ) $\rightarrow$ Funciones hidrológicas

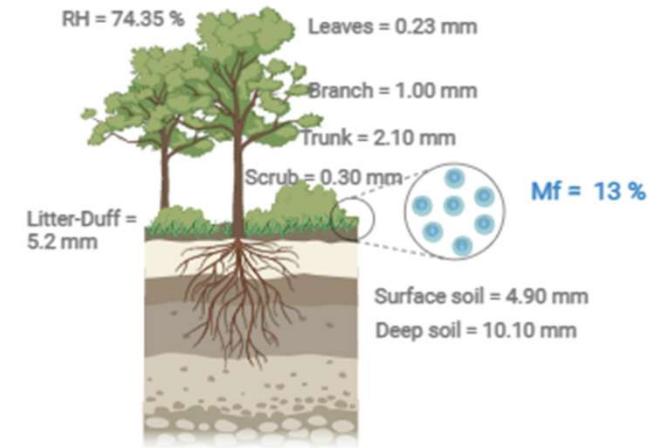
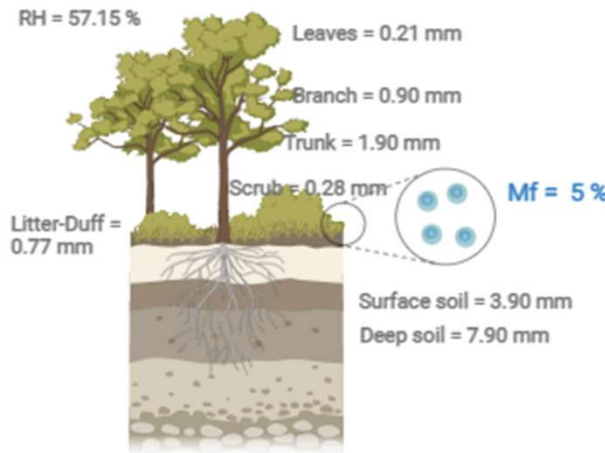


$$\theta_{\text{Suelo}} \approx 80\% \text{ total}$$

$$(\theta_{\text{Soil}} \gg \theta_{\text{trees}})$$

Dehydrated system

Hydrated system

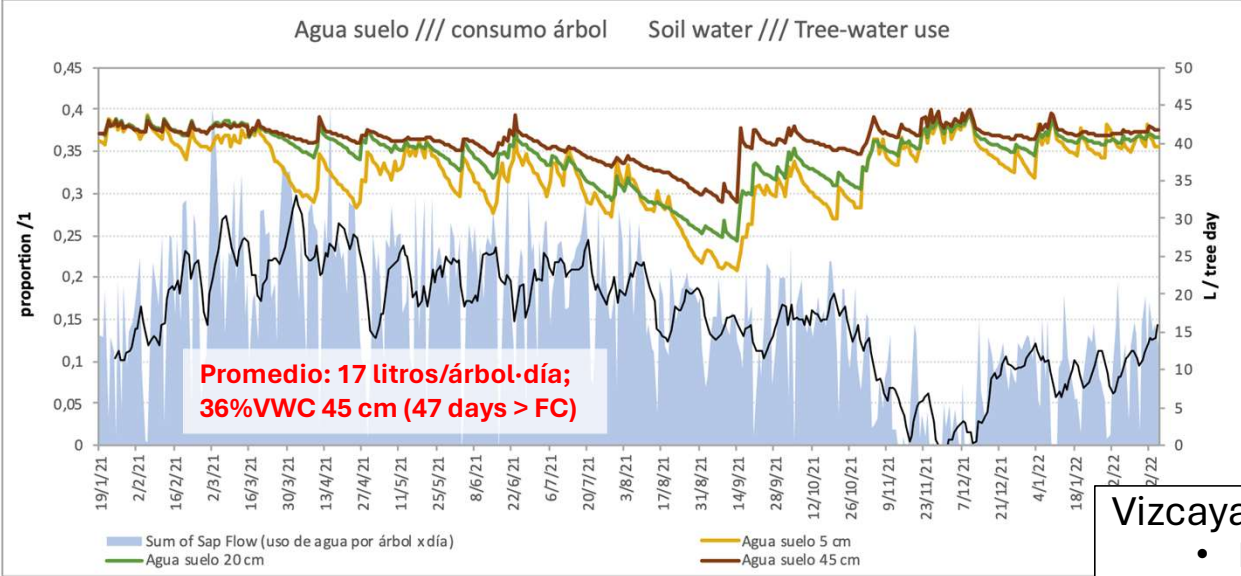


Favorecer Uso/Retención: verde Favorecer Provisión/Regulación: azul

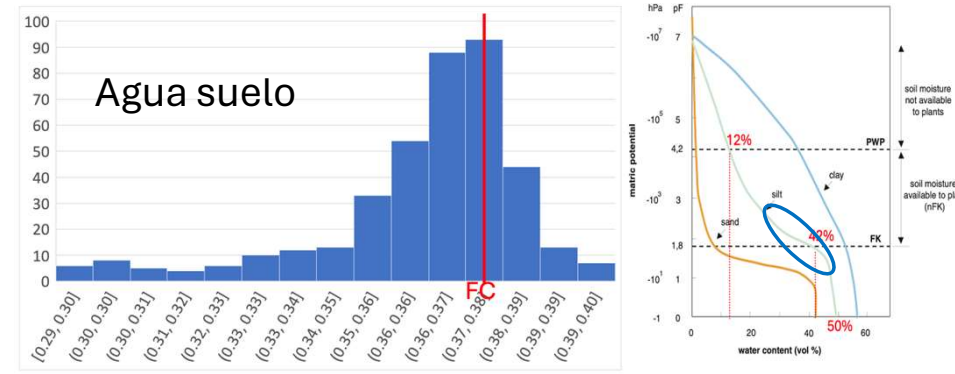


- Total de agua (**porosidad**): **Retención**
- Porosidad disponible para Precip.: **Regulación**
- Agua gravitacional: **Provisión** de agua ( $FC < P$ )
- Agua capilar (dispn.): **Uso** de agua ( $PWP < U < FC$ )
- Agua higroscópica: **Uso** limitado

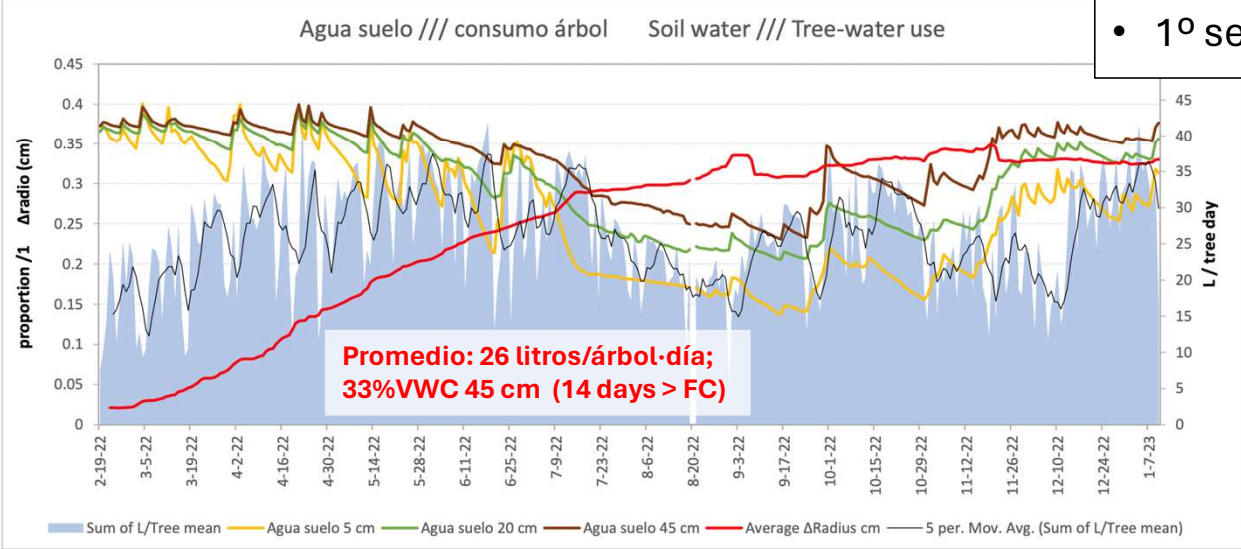
Agua del suelo y consumo de agua diario del árbol promedio: 2021



El rol del régimen  $\theta_{\text{Suelo}}$



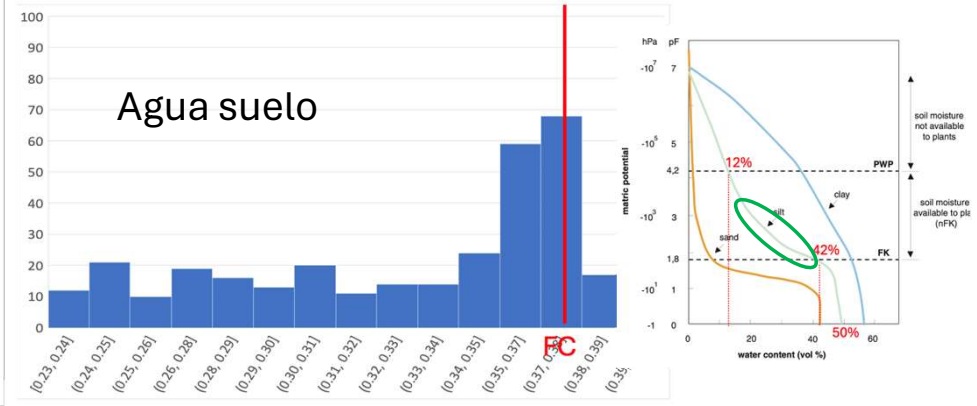
2022 (incluye cremiento radial acumulado en cm)



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

- Retención de agua:  $D = W$
- **Provisión de agua:  $D < W$**
- **Uso de agua:  $D > W$**
- 1º se atiende la ET; remanente es Q

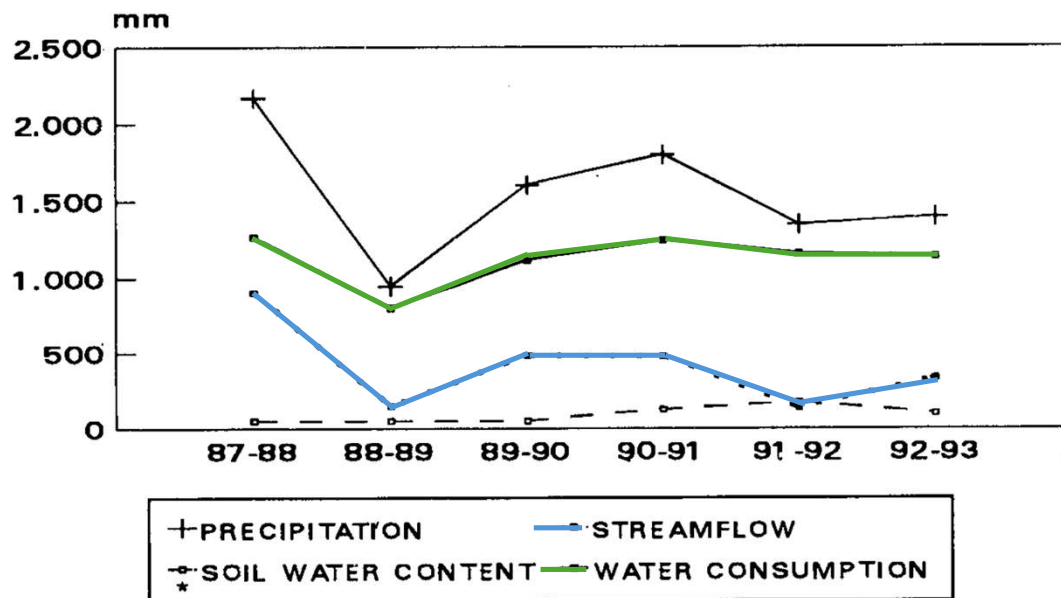
→ Rol **topografía** si queremos garantizar **P**  
 → localizaciones con poco **U**





## 2.- Plantaciones y agua: PIPR en Galicia / PIRA Chile (variabilidad espacio y tiempo)

### ARCOS P. PINASTER WATERSHED WATER BALANCE

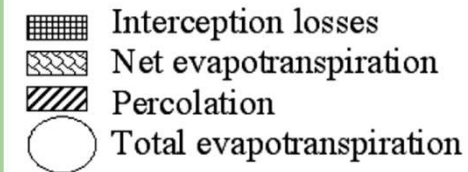


Consumo potencial en una plantación gallega representativa y no perturbada: **1000-1100 mm/año**  $\approx$  70-80% P (P  $\approx$  1540 mm; It  $\approx$  25%)

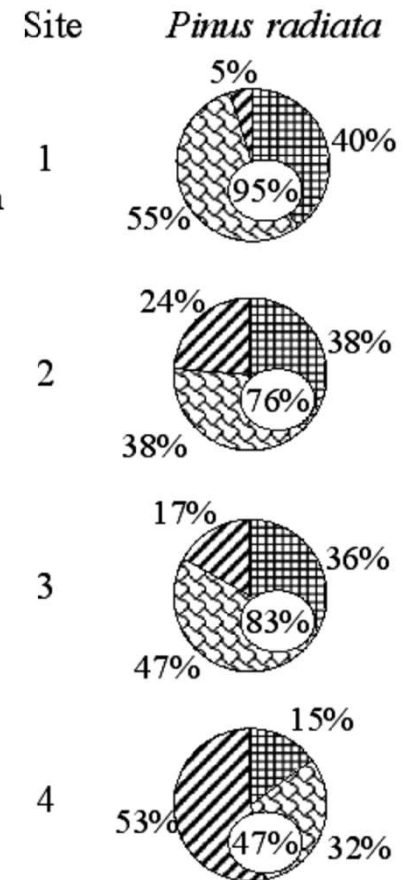
Gras et al. 1993

**¿Podemos cambiarlo según funciones que interesen?**

### Chile (varios sitios 1000-2200 mm)

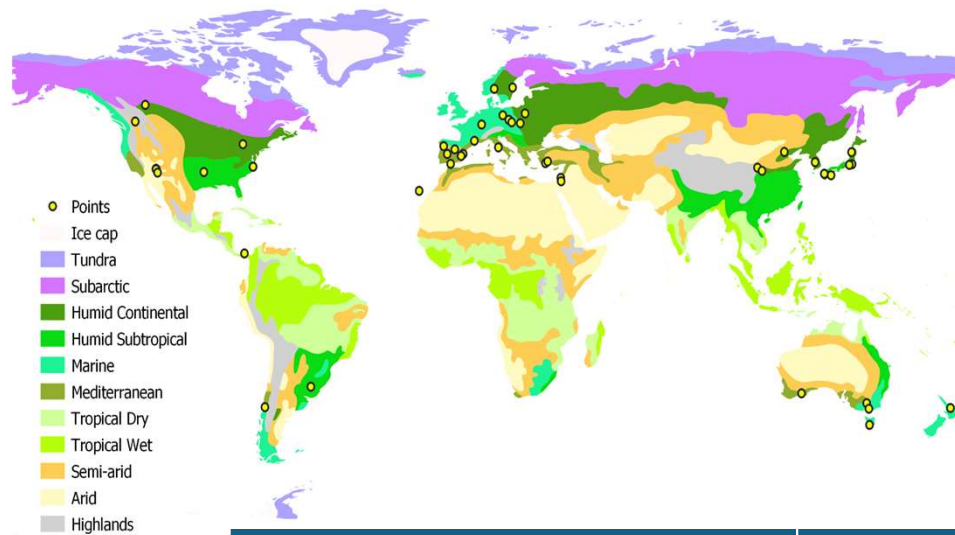


Huber et al., 2008 Hydrol. Process. 22, DOI: 10.1002/hyp

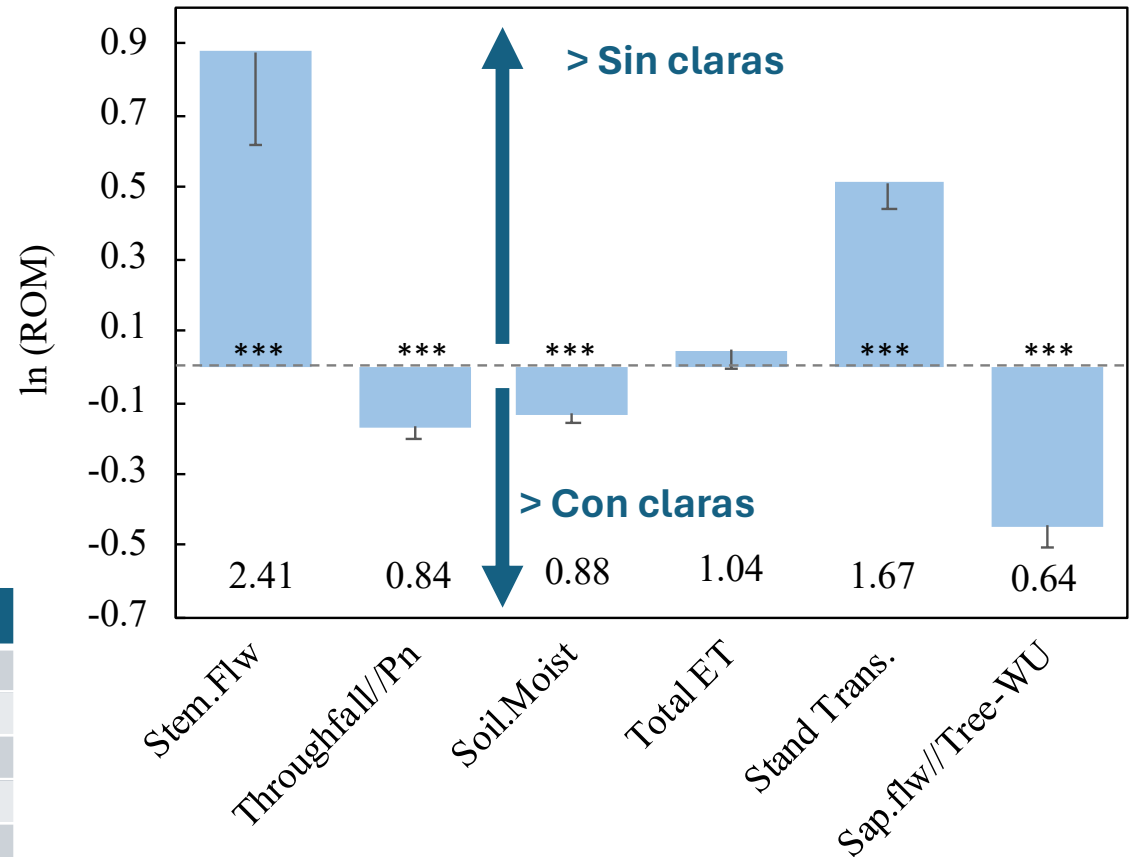


## 2.- Plantaciones y agua: Efectos generales y particulares de la Gestión Forestal

- Meta-análisis



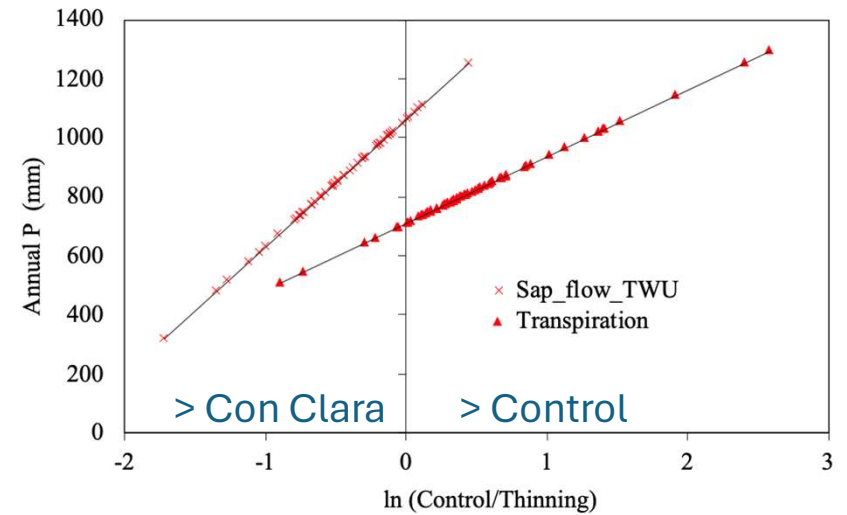
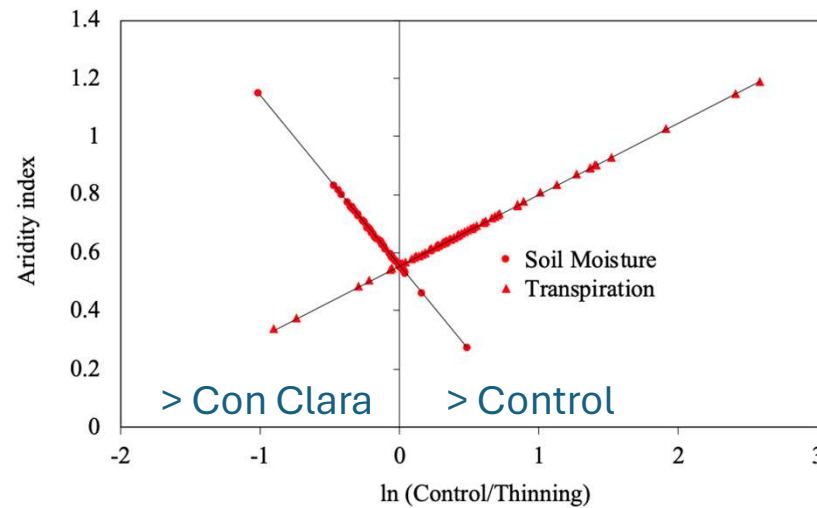
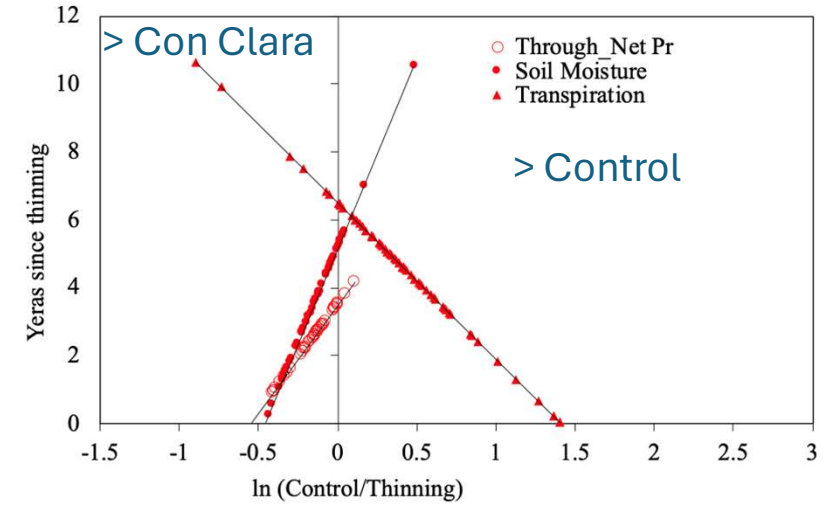
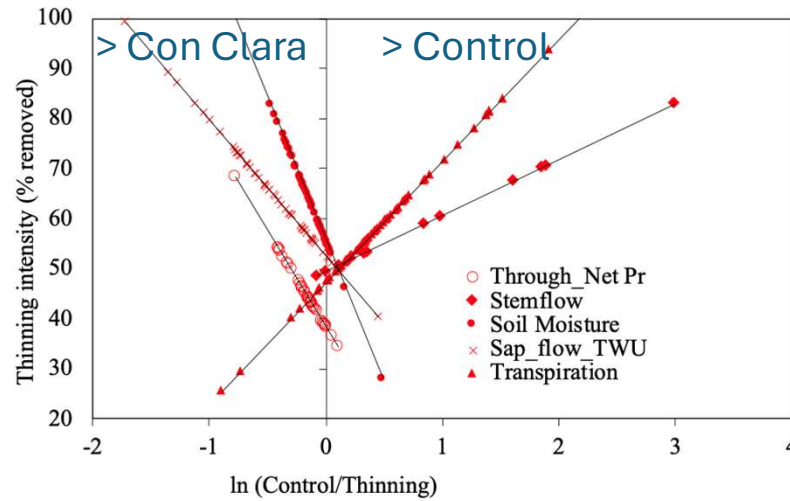
Proceso Hidrológico	ln (RoM)
Escurrimiento fustal o cortical	0.88
Trascolación / Luvia neta	-0.17
Humedad del suelo	-0.13
ET Total	0.04
Transpiración de la MASA	0.51
Transpiración ÁRBOL INDIVIDUAL	-0.45



## 2.- Plantaciones y agua: Efectos generales y particulares de la Gestión Forestal

### 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)

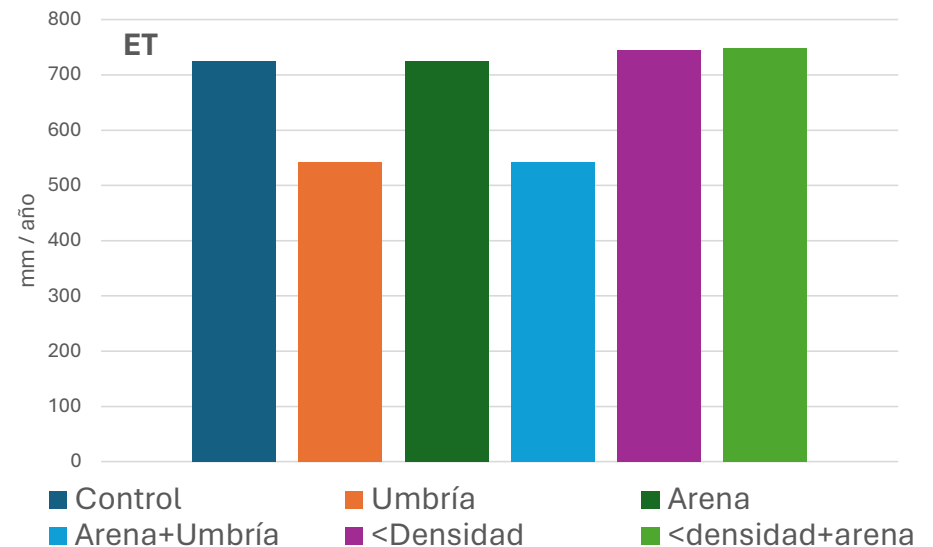
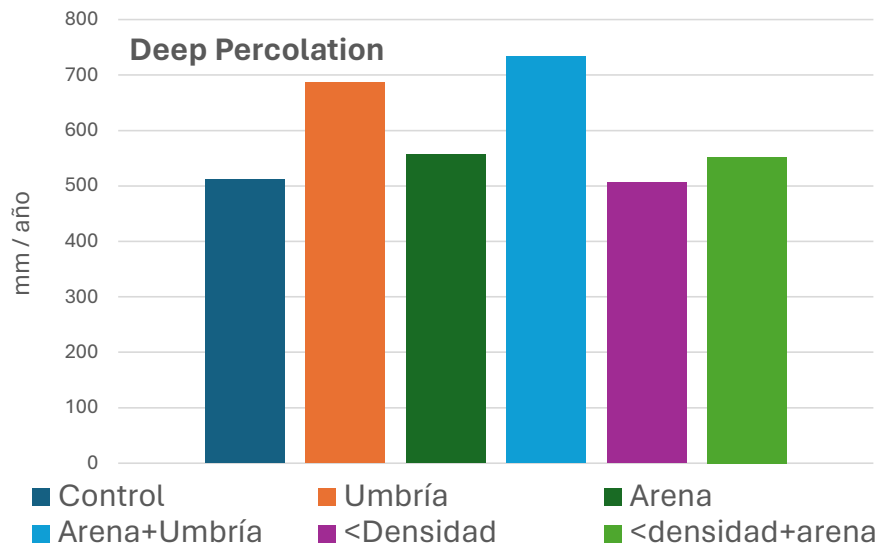
<b>Hydrol. Process (n, cases)</b>	<b>Moderator</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Intercept L(C/T)=0</b>
<b>Throughfall (40)</b>	Intensity (%BA)	13.9%	38.5
	Years Thin	23.6%	3.48
<b>Soil Moist. (55)</b>	Intensity (%SD)	25.7%	55.8
	Years Thin	12.8%	5.13
	AI	10.2%	0.55
<b>Transp. (69)</b>	Intensity (%SD)	36.0%	47.2
	Years since Thin	15.6%	6.52
	P	7.2%	710.5
	T	8.5%	13.1
	AI	11.1%	0.56
	Age	8.5%	47.4
<b>Sap Flow (57)</b>	Intensity (%SD)	21.0%	52.6
	P	13.7%	1059.9

# MODERATORS

Moderator	Min-Max	Mean	S.Dev.
Thinning Intensity (%BA/SD removed)	14-97%	55/61	25/24
Years elapsed since thinning	0.5-32.5	3.6	5.7
Mean annual precipitation (mm)	285-2084	825	426
Mean annual temperature (°C)	1.9-27.5	11.3	4.5
Aridity Index (AI, WorldClim)	0.14-1.72	0.67	0.42
Potential ET (PET, JRA55)	512-1814	1017	271
LAI of the control (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0.5-8.6	3.2	1.8
Stand age at the time of the study	3.2-226	40.2	29.7
Period of monitoring	Year, growing season, grow. season-dry, non-growing season		
Climate type (Köppen–Geiger)	Tropical Mosoon <b>Am</b> , Cold semi-arid (steppe) <b>BSk</b> , Hot-summer Mediterranean <b>Csa</b> , Warm-summer Mediterranean <b>Csb</b> , Temperate oceanic <b>Cfb</b> , Temperate Warm <b>Cfa</b> , Monsoon-influenced hot-summer humid continental <b>Dwa</b> , Monsoon-influenced warm-summer humid continental <b>Dwb</b> , Warm-summer humid continental (Hemiboreal) <b>Dfb</b> , Subartic <b>Dfc</b> .		
Forest type	Hardwoods, coppice, bamboo and softwoods		
Main Species	Quercus sp., Pinus sp., other hardwoods and other conifers		
Spatial Scale for reported results	Plot, Watershed		

### 3.- Efectos regionales/locales de la Selvicultura sobre el agua: en PIPR (topografía, suelo, selvicultura)

**Provisión vs. Uso:** Topografía > suelo > selvicultura (Simulación Biome\_BGC, PIPR, Vizcaya, 1250 mm).



#### Selvicultura:

- 40 años
- 1600 vs 1110 pies/ha plantación
- Clareo (8/10) + 3 claras (12/20/27)

#### Suelo:

- Franco
- Arenoso

#### Topografía:

- Llano
- Umbría 67% de la radiación en el llano

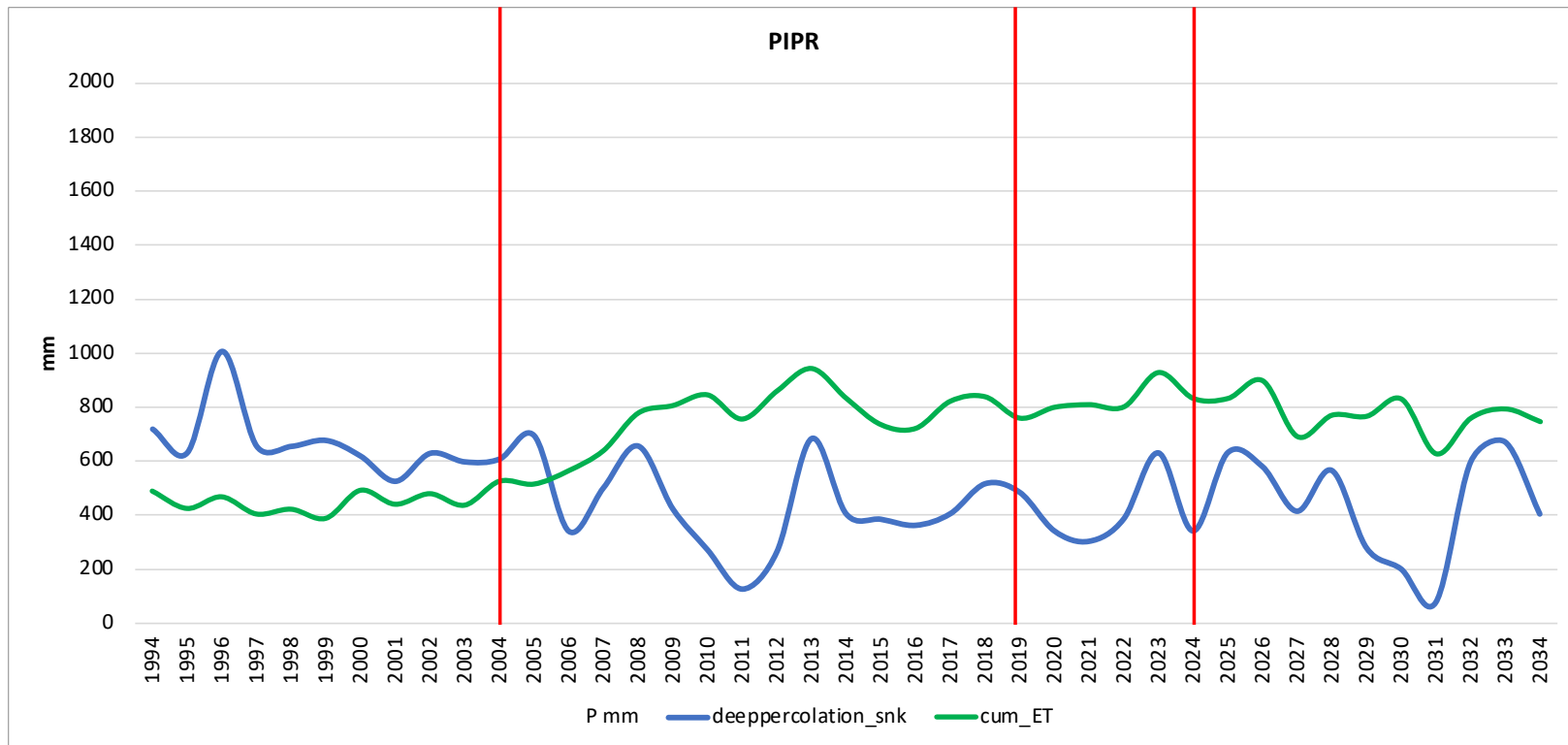
### 3.- Efectos regionales/locales de la Selvicultura sobre el agua: en PIPR (topografía, suelo, selvicultura)

- Simulación Biome\_BGC: PIPR, Vizcaya, 1250 mm

- 40 años
- 1110 pies/ha plantación
- Clareo (10) + 2 claras (25/30)

Prom. Desde 2010

- ET: 800 mm
- DP: 413 mm



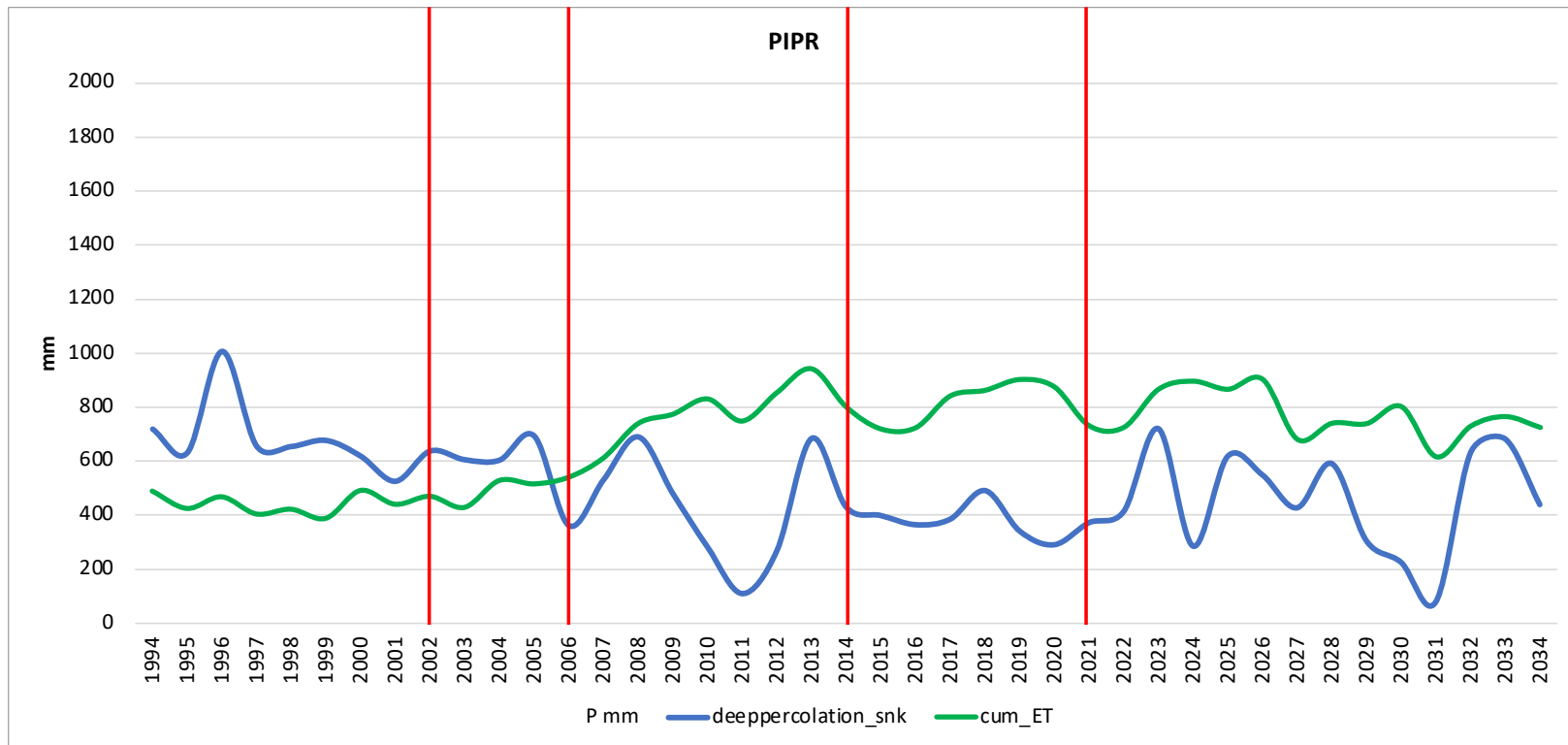
### 3.- Efectos regionales/locales de la Selvicultura sobre el agua: en PIPR (topografía, suelo, selvicultura)

- Simulación Biome\_BGC: PIPR, Vizcaya, 1250 mm

- 40 años
- 1600 pies/ha plantación
- Clareo (8) + 3 claras (12/20/27)

Prom. Desde 2010

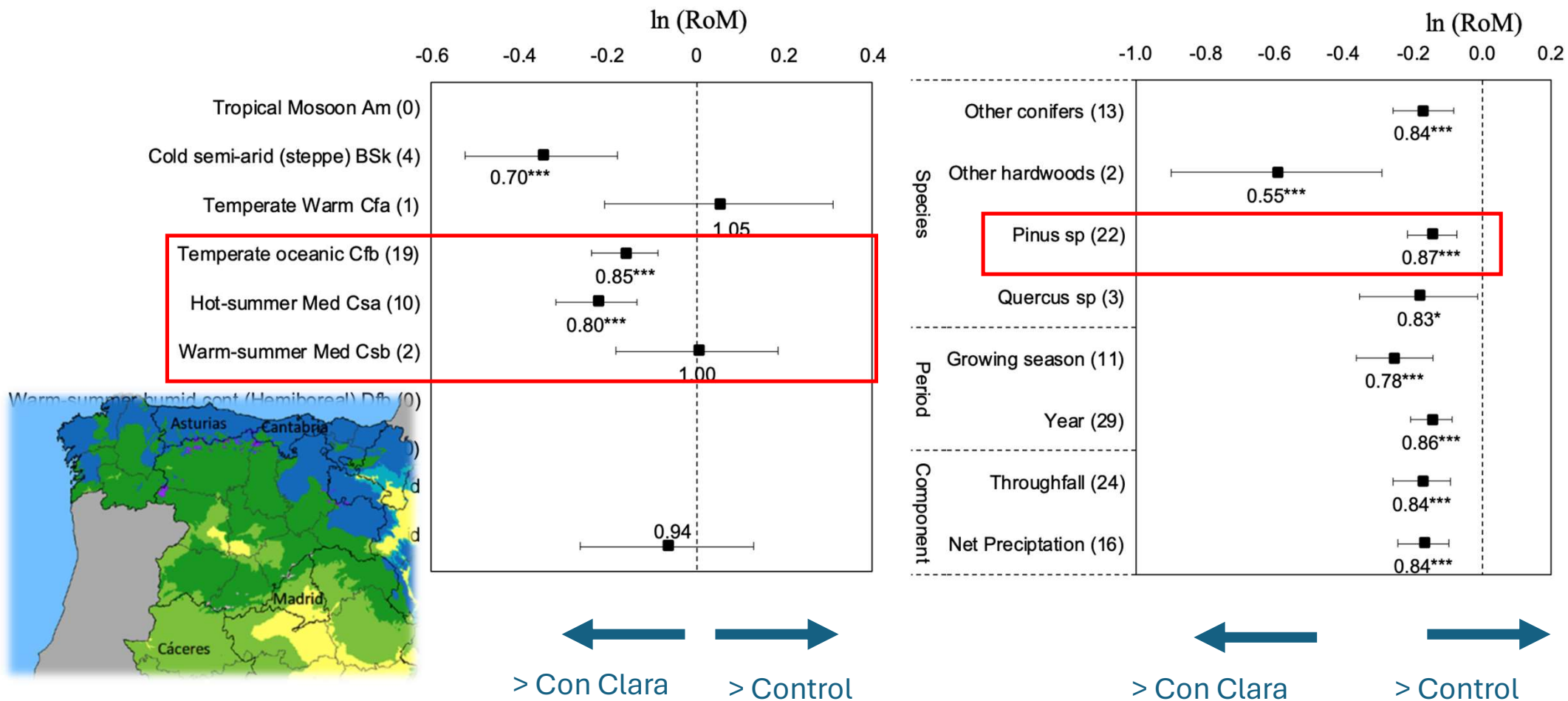
- ET: 795 mm
- DP: 416 mm





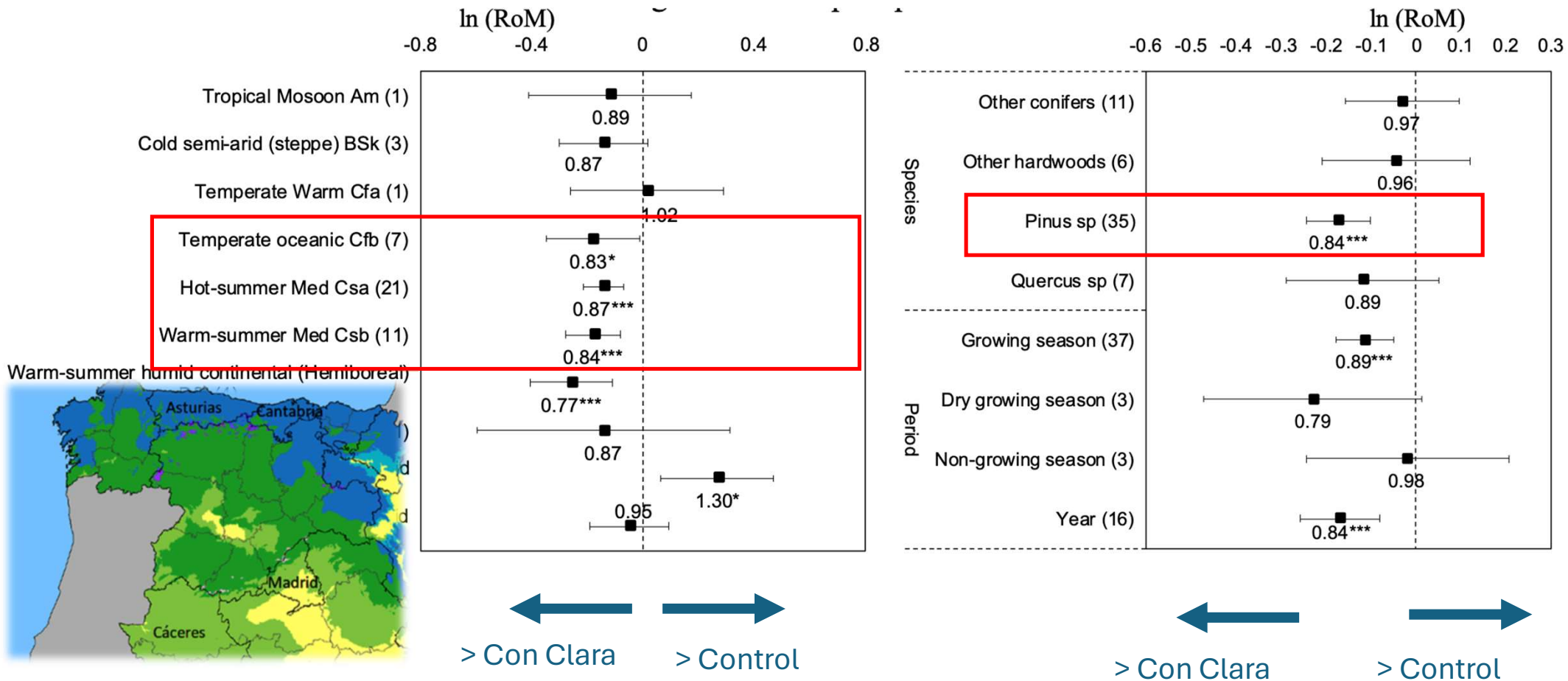
### 3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

#### Trascolación / Lluvia neta



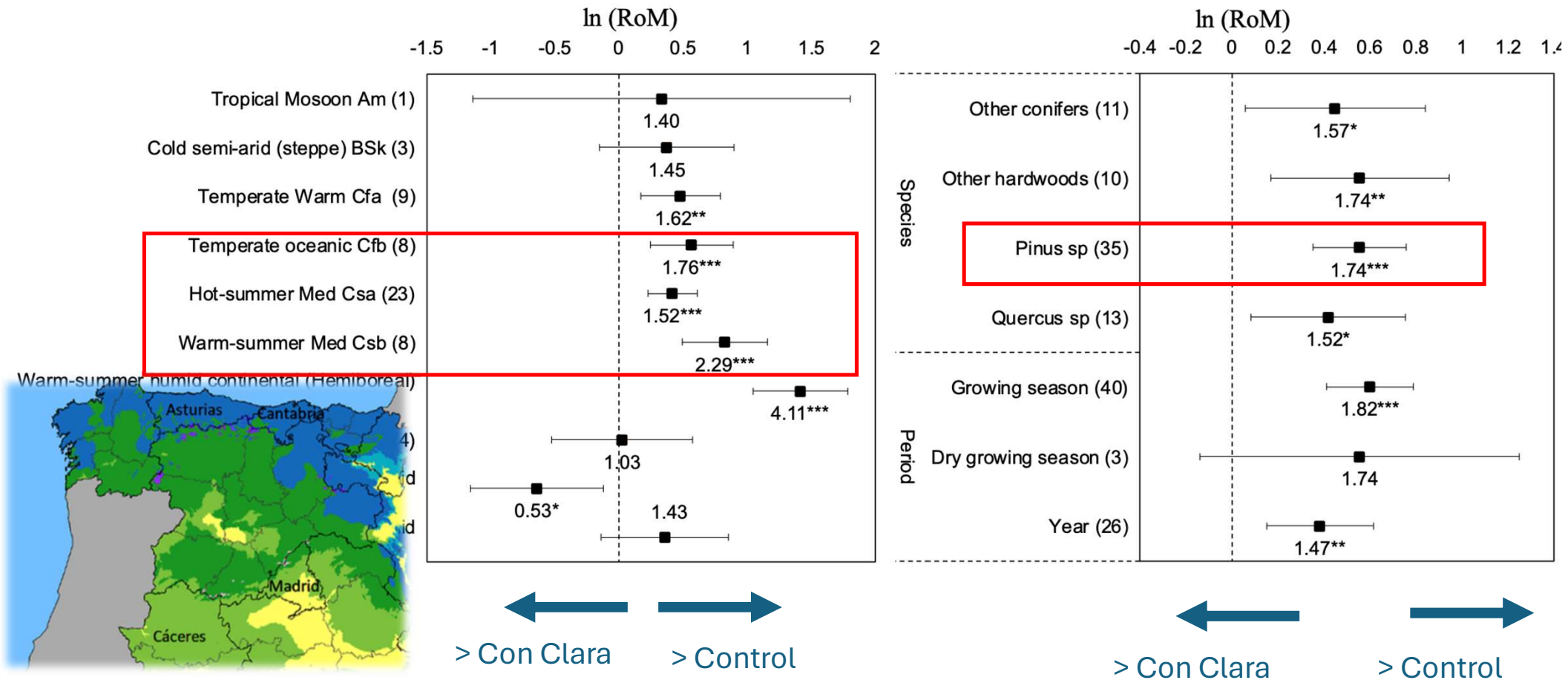
### 3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

#### Humedad del suelo



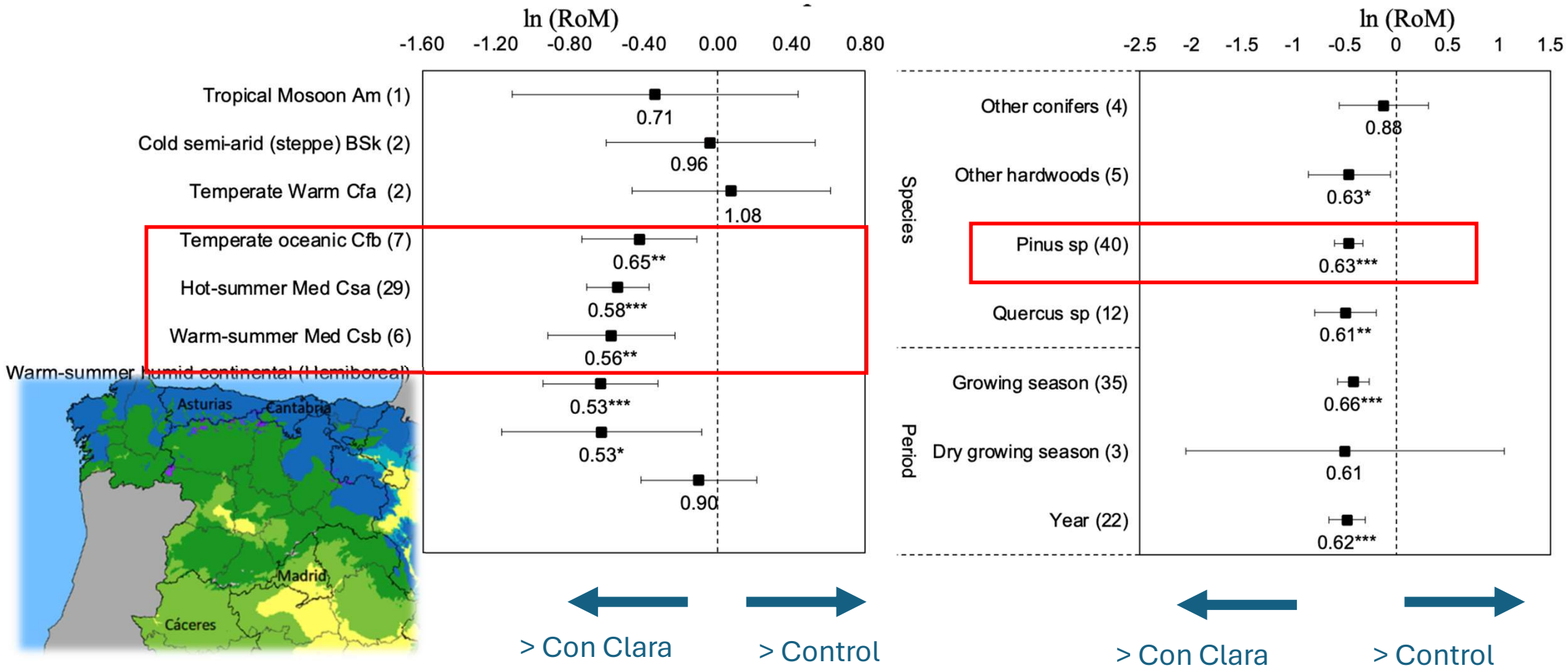
### 3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

#### Transpiración de la Masa



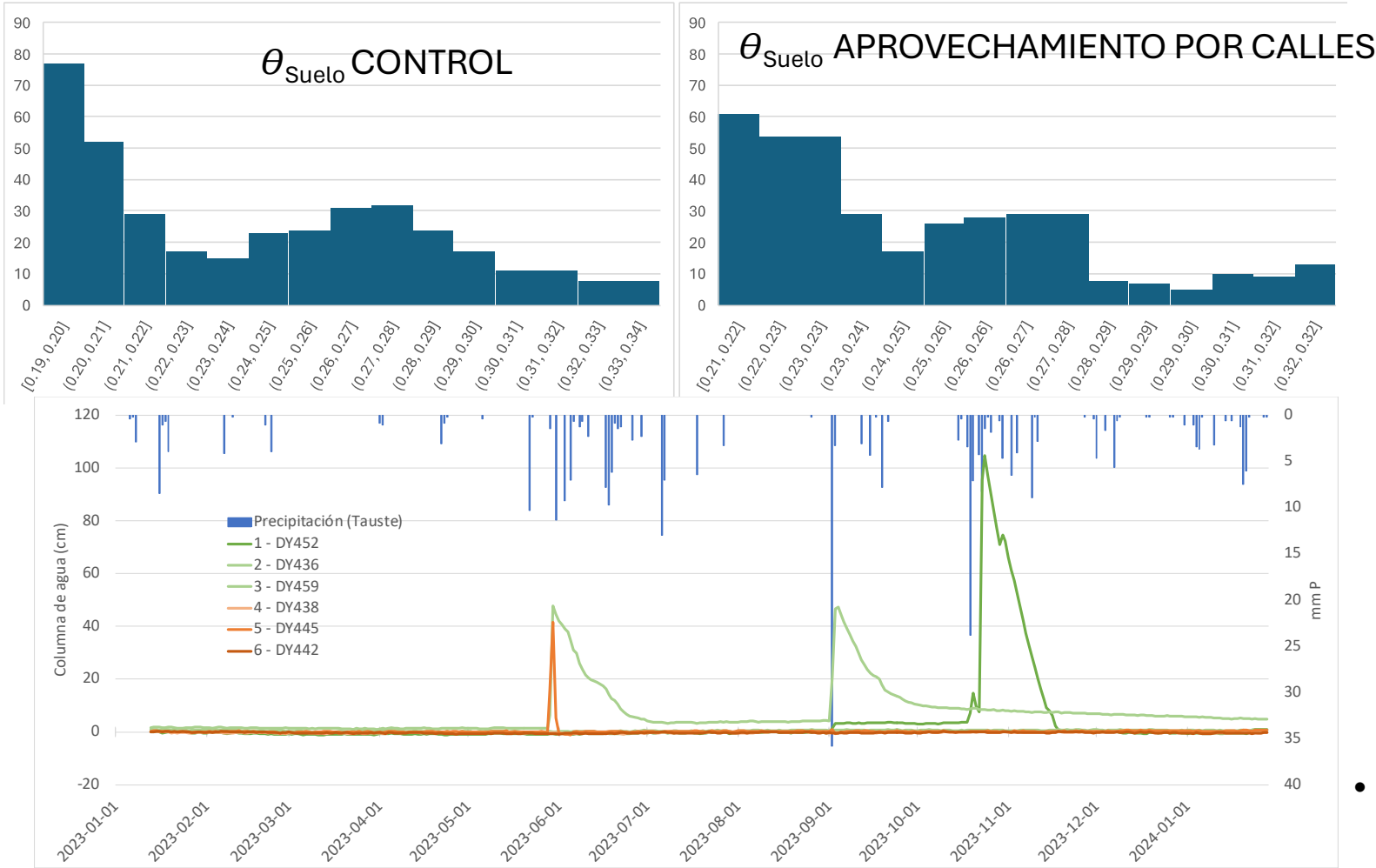
### 3.- Efectos regionales de la Selvicultura sobre el agua: Clima

#### Transpiración del árbol individual



# 3.- Efectos locales de la Selvicultura sobre el agua: Efectos tratamientos lineales

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

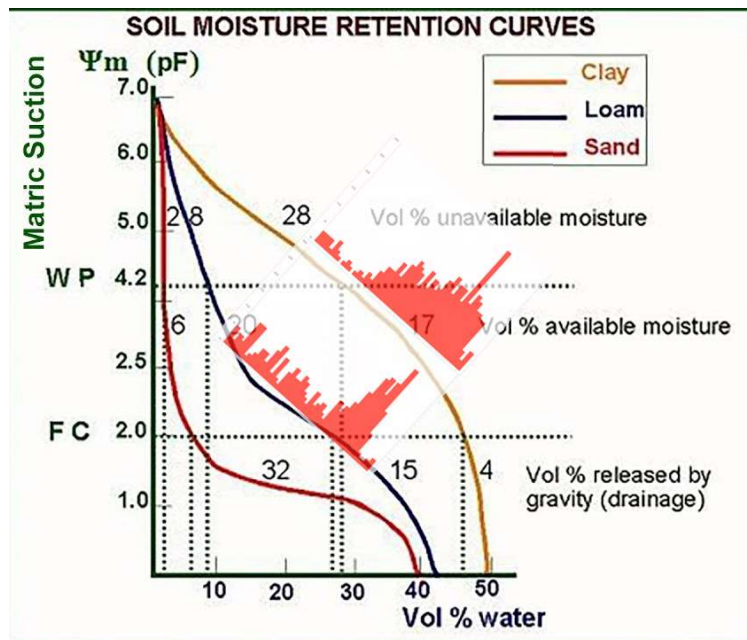


- Es decir, se produce más agua en la calle

## 4.- Tratamiento correcto... 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  $\theta_{\text{Suelo}}$  (tan importante como la de crecimiento en volumen)



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

- $\theta_{\text{Suelo}}$ ,  $K_s$ , Inf., Perc., biomasa, ET, transp., intercept., LAI,  $Q_{\text{mx}}$ ,  $Q_{\text{low}}$ , Esc., etc.

### 4. **Definir valor objetivo indicadores**

- Maximizar, optimizar, minimizar, etc...

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

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

# Conclusiones

1. La selvicultura del agua contribuye a **mejorar las funciones** hidrológicas del bosque, pero es **sólo uno de los muchos factores implicados** (de hecho, pueden darse otros factores en niveles que hagan poco relevante el efecto de la S.E.H.).
2. Para **provisión** de agua:
  - Evitar **densidades** altas en edades jóvenes-medias (FCC  $\approx$  65%)
  - **Clarear** con cierta frecuencia (< 10 años) y con intensidad media-alta ( $\approx$  40% AB)
  - Mejor en **rangos de P** entre 650-1100 mm/año
  - **Suelos** textura media a gruesa y en **umbría** responden mejor
3. Para **regular/retener** agua (tanto para uso como provisión)
  - Maximizar **capacidad de infiltración** (capa orgánica, disposición vertical restos y raíces vivas/muertas, evitar compactación maquinaria, trabajos por curvas de nivel)
  - **Pendientes** medias, **suelos** francos y **orientaciones** de umbría
  - **Especies** con uso consuntivo moderado y en densidades medias.
4. **Uso del agua**
  - Evitar en lo posible pérdidas por  $I_t$  (finos) y  $E_{\text{suelo}}$  (sombreo suelo).
  - Regular estructura para los “usuarios”



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



departamento de ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**dihma**



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural



**Graciñas**

ENCONTRO CIENTÍFICO-TÉCNICO  
TRANSFRONTEIRIZO  
Montes de piñeiro pinaster

MELLORAR A RESILIENCIA E A  
XESTIÓN FORESTAL

19 E 20 DE MARZO 2024  
HOTEL BALNEARIO DE MONDARIZ.  
MONDARIZ-BALNEARIO

**Agradecimientos:**

**ORGANIZADORES +**

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

RESILIENT-FORESTS (LIFE17  
CCA/ES/000063)

ADAPT-ALEPPO (LIFE20  
CCA/ES/001809)

SALAM-MED (PRIMA)

Antonio del Campo  
([ancamga@upv.es](mailto:ancamga@upv.es))