

# **JORNADA GESTIÓN FORESTAL Y DE ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

**AGUA, ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y GESTIÓN  
FORESTAL: 10 AÑOS DE EXPERIENCIAS DE  
SELVICULTURA ECO-HIDROLÓGICA EN BOSQUES  
SEMIÁRIDOS**

***ANTONIO DÁMASO DEL CAMPO GARCÍA - UPV***

**29 NOV 2018**

**CIUTAT ADMINISTRATIVA. 9 D'OCTUBRE**

**VALÈNCIA**

# QUIÉN Y DÓNDE?



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



**Instituto de Ingeniería del Agua y Medio-Ambiente (IIAMA)**

**Universitat Politècnica de Valencia** [www.iiama.upv.es](http://www.iiama.upv.es)

- Grupos de investigación que abarcan diferentes campos relacionados con el agua y el medio ambiente, incluida la investigación y la consultoría
  - Re-ForeST [www.iiama.upv.es/iiama/en/research/research-groups/forest-science-and-technology.html](http://www.iiama.upv.es/iiama/en/research/research-groups/forest-science-and-technology.html)
    - **Ciencia → Práctica (→ policy)**

# LOS 10 AÑOS ....

## PROYECTOS FINANCIADOS (MCI, FEDER, LIFE)

### Finalizados:

- La determinación de los factores hidrológicos y de recuperación de la cubierta forestal del monte mediterráneo y su percepción social (2007-2009). MMA, DGB
- CGL2011-28776-C02-02. **Hydroasil** (2012-2015): Caracterización hidrológica de la estructura forestal a escala parcela para la implementación de **selvicultura adaptativa**”
- CGL2014-58127-C3-2-R. **Silwamed** (2015-2018): Desarrollo de conceptos y criterios para una **gestión forestal** de base **eco-hidrologica** como medida de adaptación al cambio global

### En desarrollo:

- CGL2017-86839-C3-2-R. **Cehyrfo-med** (2018-2020). Incorporación de criterios eco-hidrologicos y de resiliencia frente a perturbaciones **climáticas** y del **fuego** en la planificación y gestión forestal de cuencas mediterráneas
- LIFE17 CCA/ES/000063 **Resilient Forests** (2018-2022): Coupling water, fire and climate resilience with biomass production in Forestry to adapt watersheds to climate change.

# **OTROS ACTORES**

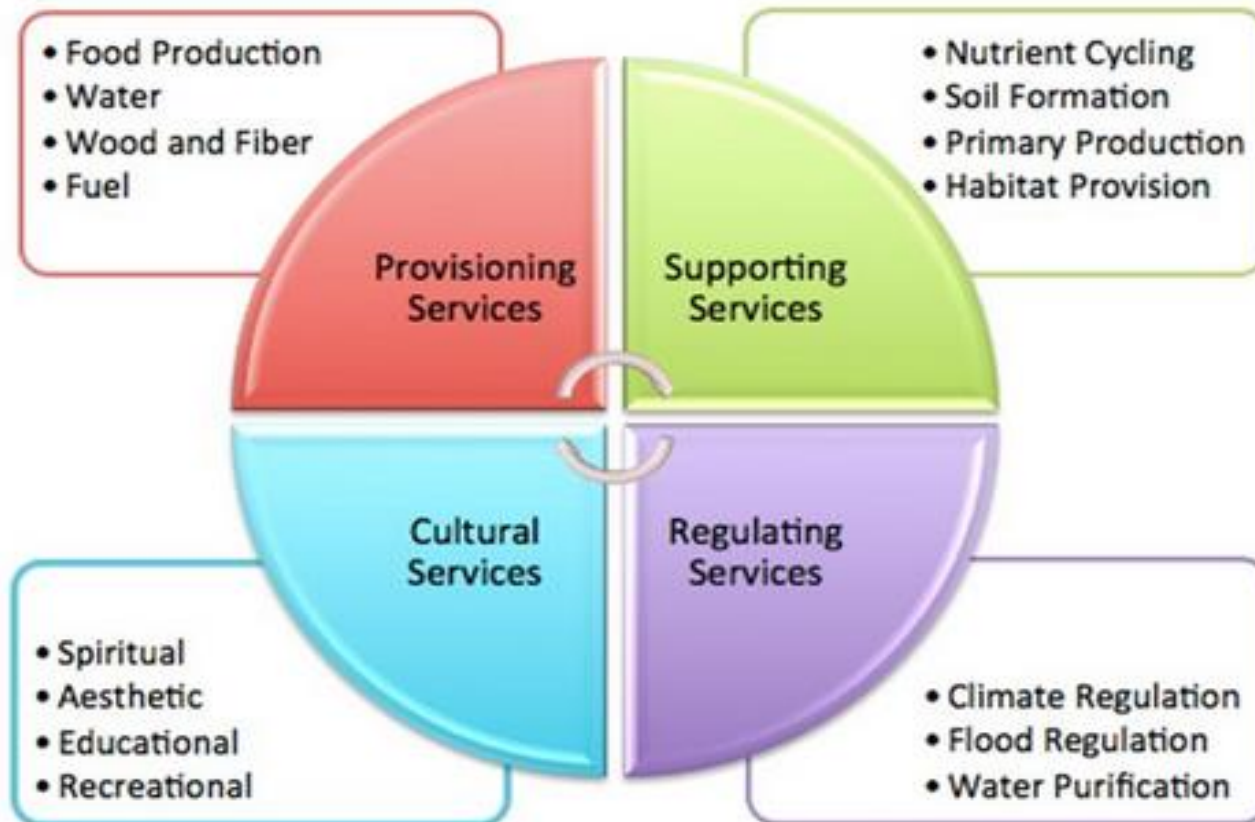
- **IIAMA – Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA). Prof. Félix Francés**
- **GVA. Consejería de Medio Ambiente, Servicios territoriales**
- **Ayto. Serra**
- **Tragsatec, Acciona, Vaersa**
- **Alumnos (Tarcisio, Angela, Charlotte, Theresa, Antonio, Vicente, Adriá, Nacho, JuanMi, Andrés, Mauricio, Adrian, etc. etc. ...)**

# CONTENIDOS

- 1. Agua, Cambio climático y Gestión forestal (A. del Campo)**
  - ¿Por qué estos tres elementos?: Planteamiento y Objetivos
  - Contexto biogeográfico y forestal
  - Extracto de resultados de experiencias
- 2. Análisis integral a largo plazo de selvicultura hidrológica (A. García-Prats)**
  - Acoplamiento de datos de campo, modelos matemáticos de simulación y redes bayesianas.
- 3. Efectos de los tratamientos selvícolas sobre el suelo (A. Lidón)**
  - Efecto de tratamientos selvícolas sobre algunos componentes del ciclo del C y del N en el suelo.
- 4. Aplicación práctica (María Glez.-Sanchis)**
  - Efectos eco-hidrológicos del manejo forestal de las masas de regeneración post-incendio de pino carrasco en la Sierra Calderona en términos de producción de agua, biomasa y riesgo y propagación de incendios. LIFE: ResilientForests.

# PUNTO DE PARTIDA (1):

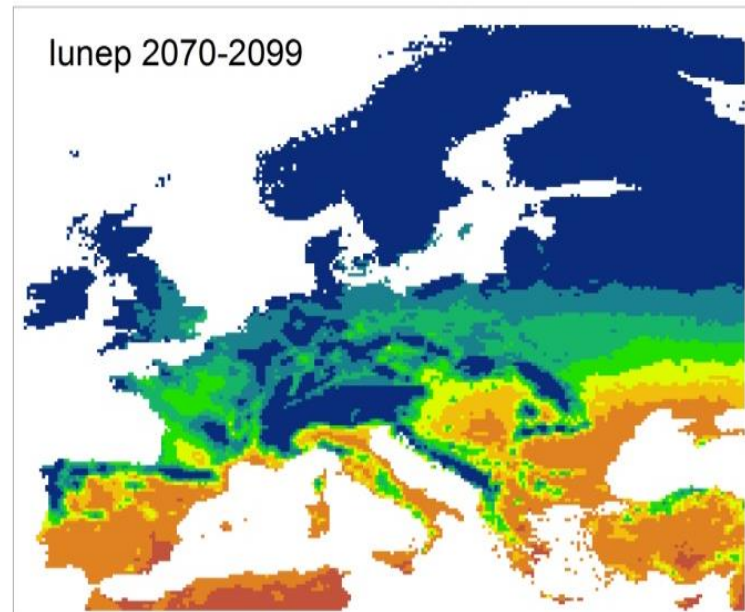
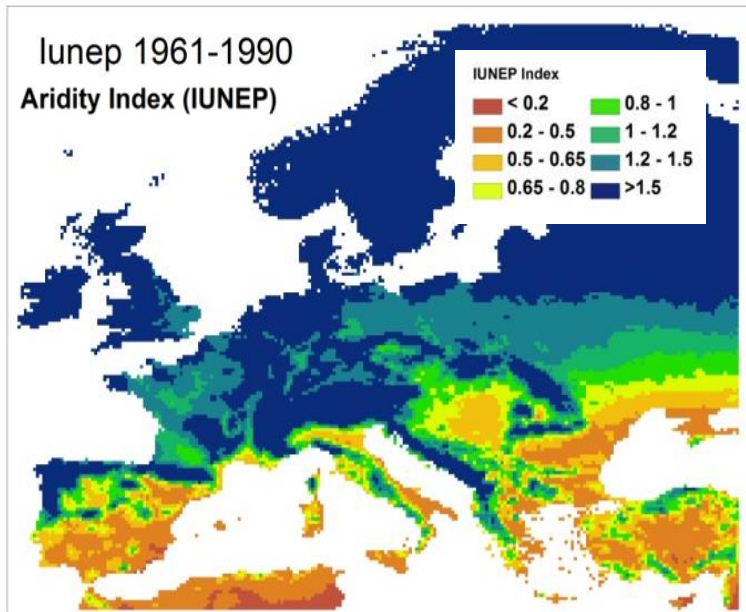
## Forests provide ecosystem services



Source: Millenium Ecosystem Assessment, 2005.

## PUNTO DE PARTIDA (2):

- **Cambios global y climático** → alteran los regímenes de perturbaciones y esto afecta a la provisión de bienes y servicios
  - Régimen de incendios, Sequías, patrones temporales de humedad del suelo, cambios en la estación vegetativa,...
  - Mediterráneo es de los más afectados

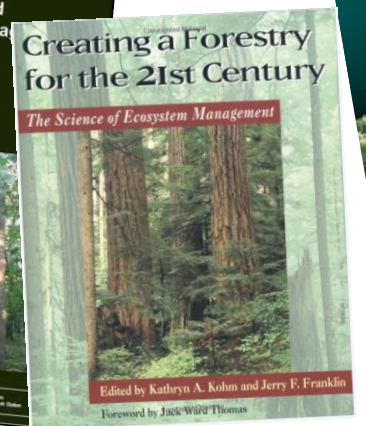
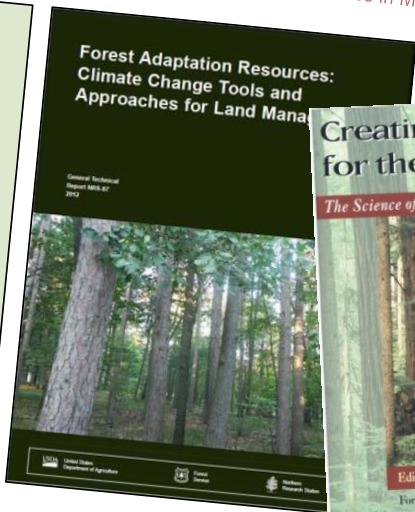
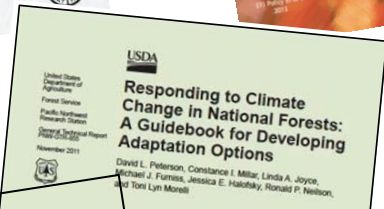
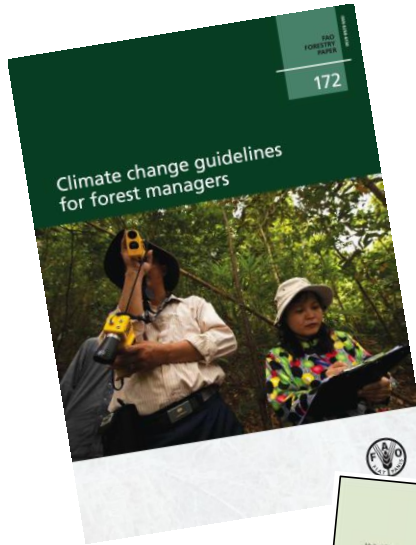


Source:  
Lindner et  
al. 2014

# PUNTO DE PARTIDA (3):

## ADAPTIVE SILVICULTURE

### Proactive vs reactive management (EFI, 2013)



Perspectives  
BC Journal of Ecosystems and Management  
Adaptation to climate change in forest management  
David L. Spittlehouse<sup>1</sup> and Robert B. Stewart<sup>2</sup>



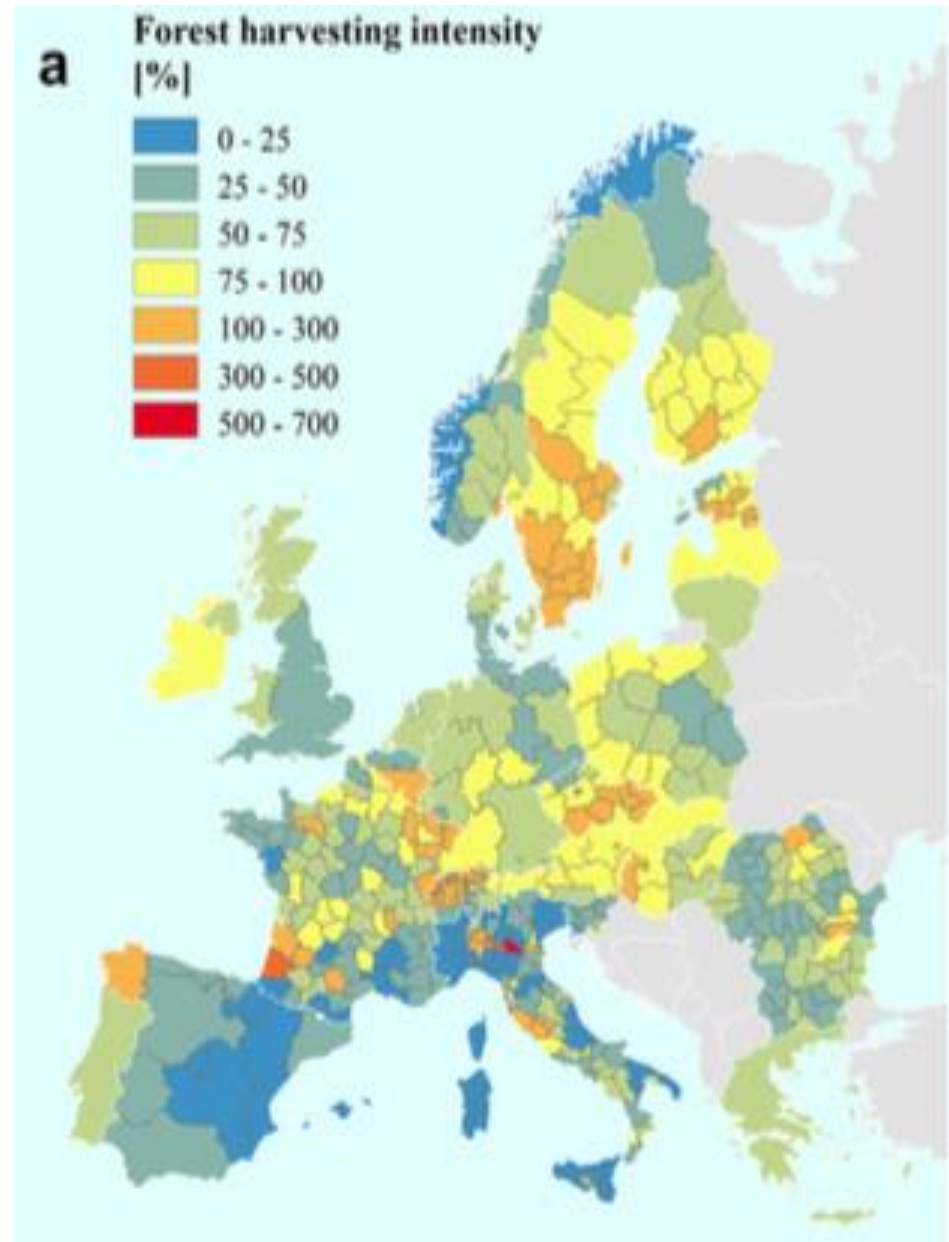


## PUNTO DE PARTIDA (4):

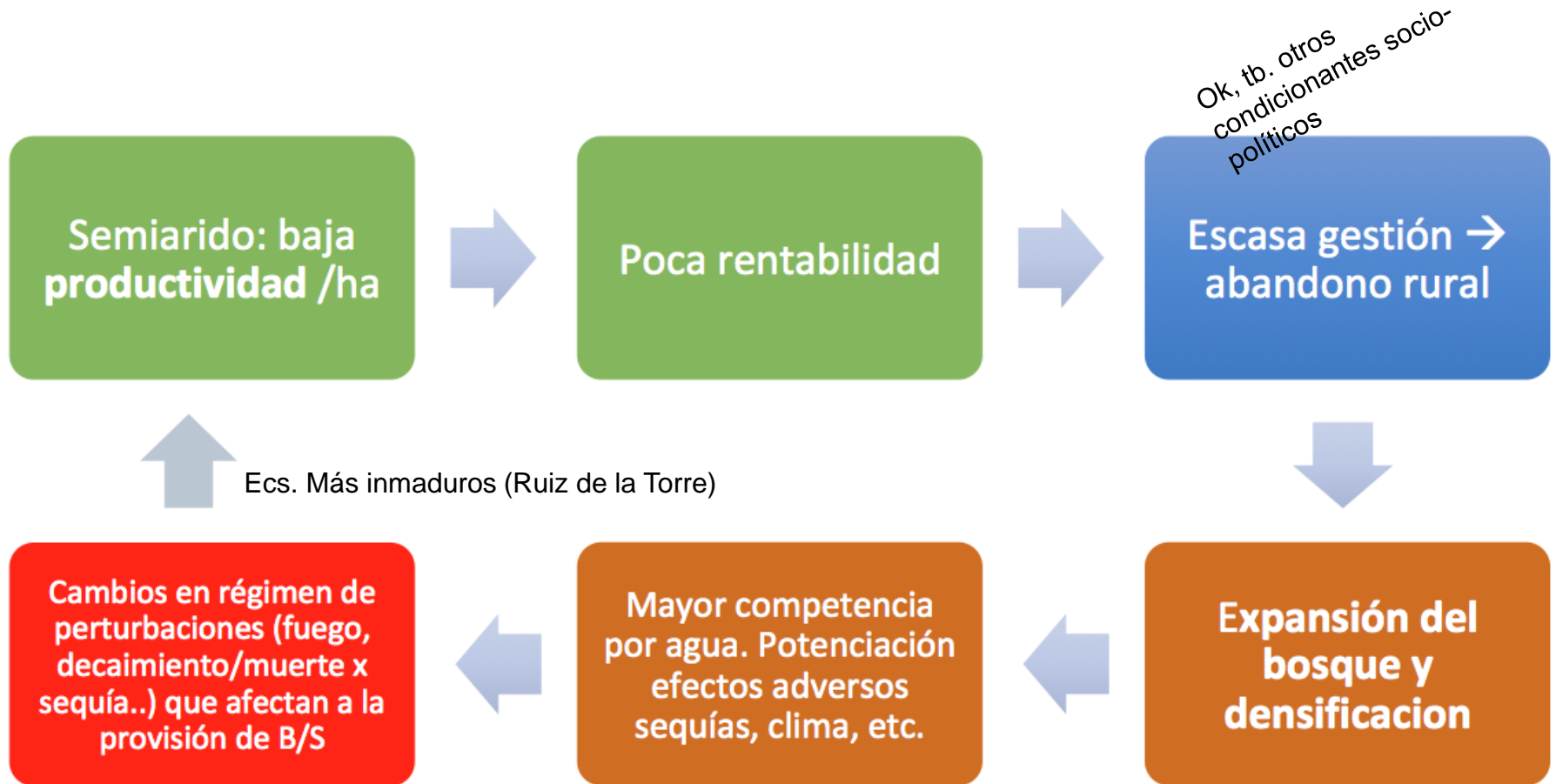
### **E DE ESPAÑA → TASAS MUY BAJAS DE GESTION\* FORESTAL**

**Volumen de madera cortada con respecto al incremento anual para 2000–2010 (Levers et al., 2014, FORECO 315:160–172)**

\* No necesariamente adaptativa



# EL CIRCULO VICIOSO EN CLIMAS SEMIARIDOS



# EL CIRCULO VICIOSO EN CLIMAS SEMIARIDOS



**Interacción compleja con cambio climático**

# Tendencias en los caudales anuales

(Stahl et al., 2010. doi: 10.5194/hess-14-2367-2010)

In France, Spain and Italy, reforestation was particularly visible

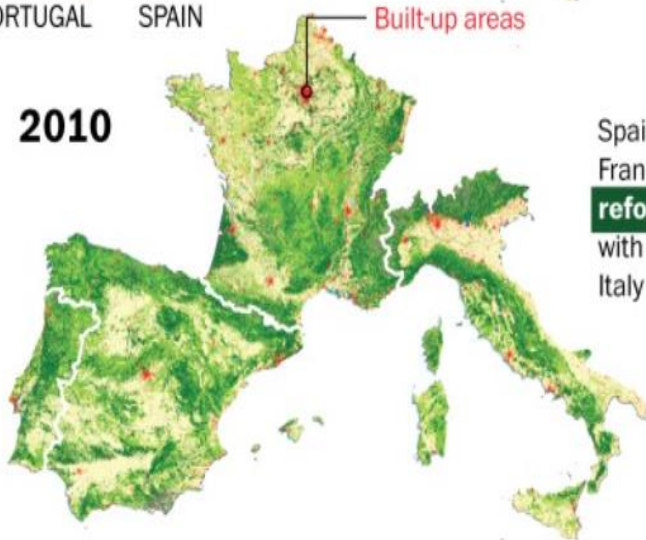
**Expansión del bosque y densificación**

1900



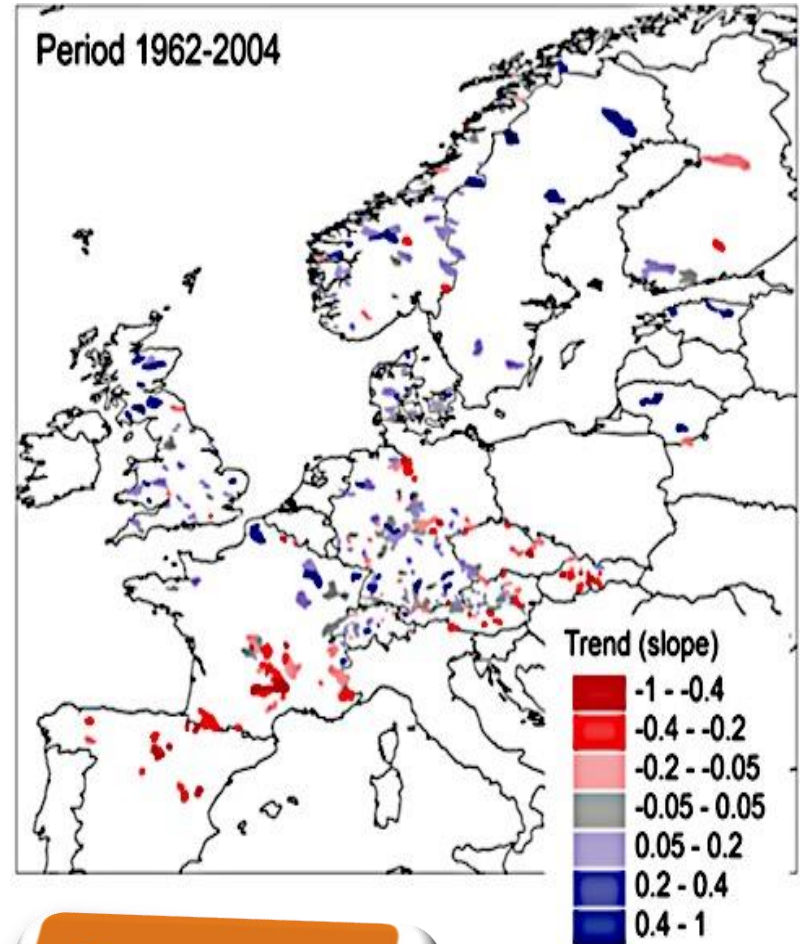
Areas used for **farming** in France, Italy, Spain and Portugal have decreased dramatically

2010



Spain and southern France saw widespread **reforestation**, along with Apennine regions of Italy

Period 1962-2004

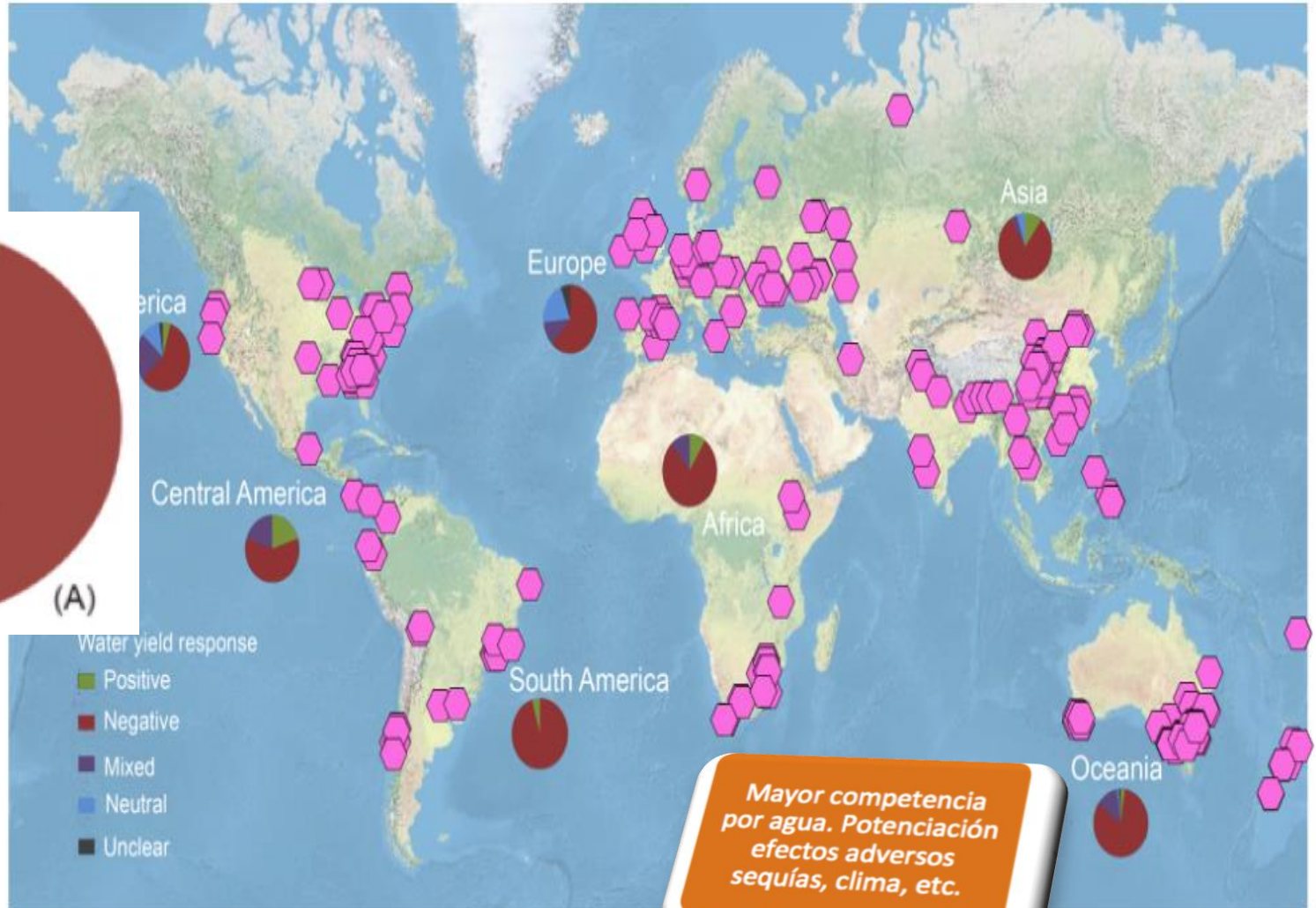
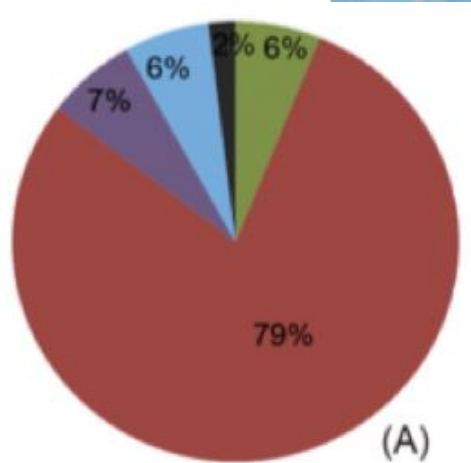


**Mayor competencia por agua. Potenciación efectos adversos sequías, clima, etc.**

# Impactos de las restauraciones forestales en la ecorrentía

Global distribution of study cases providing data on changes in water yield following forest restoration or forest cover expansion. The pie charts indicate the distribution of water yield responses reported in the studies from the different regions. Red represents a negative response, green a positive response, and purple mixed results. Neutral response is represented by light blue. Source for the world map is the US National Park Service (Natural Earth physical map; <https://www.arcgis.com/home/item?id=c4ec722a1cd34cf0a23904aadf8923a0>).

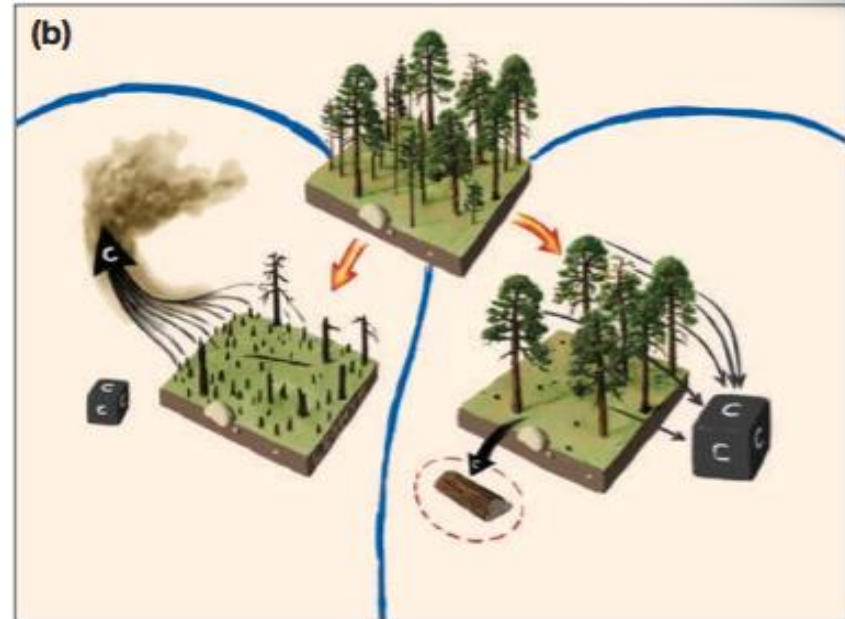
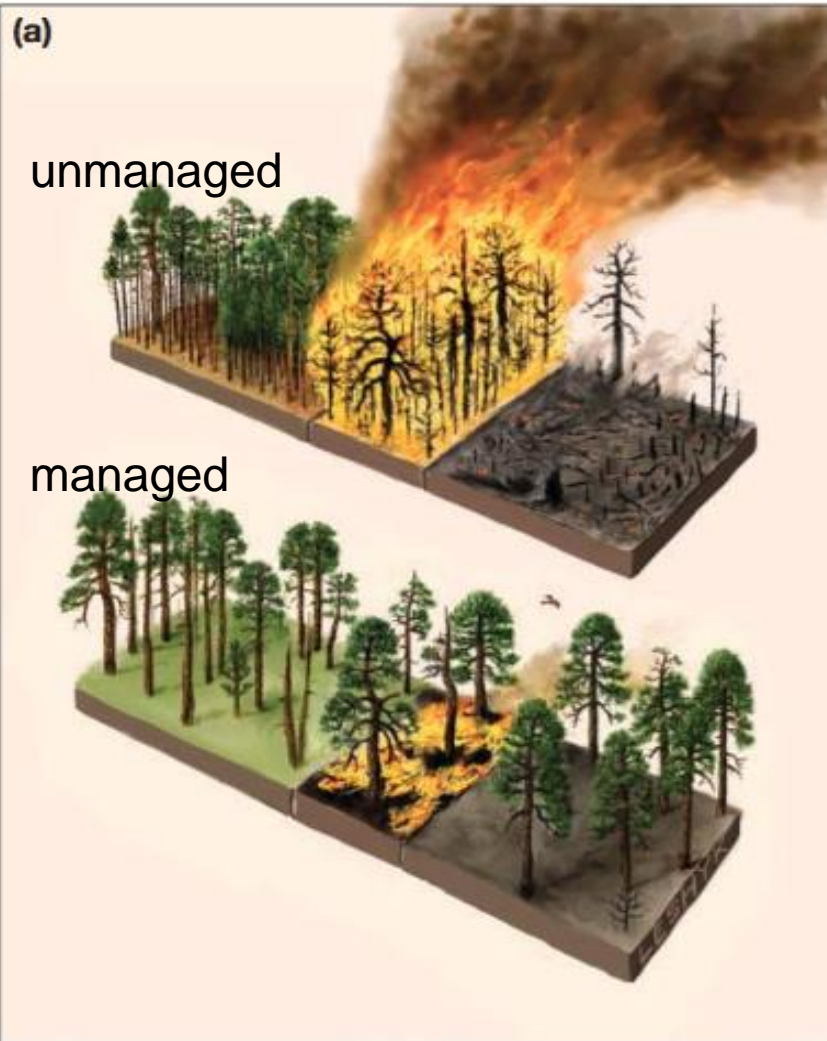
Filoso et al 2017.  
Impacts of forest  
restoration on water  
yield A systematic  
review



# EFECTO EN EL RÉGIMEN DE PERTURBACIONES (FUEGO), BIOMASA Y CICLOS DEL C

Cambios en régimen de perturbaciones (fuego, decaimiento/muerte x sequía..) que afectan a la provisión de B/S

Carbon protection and fire risk reduction

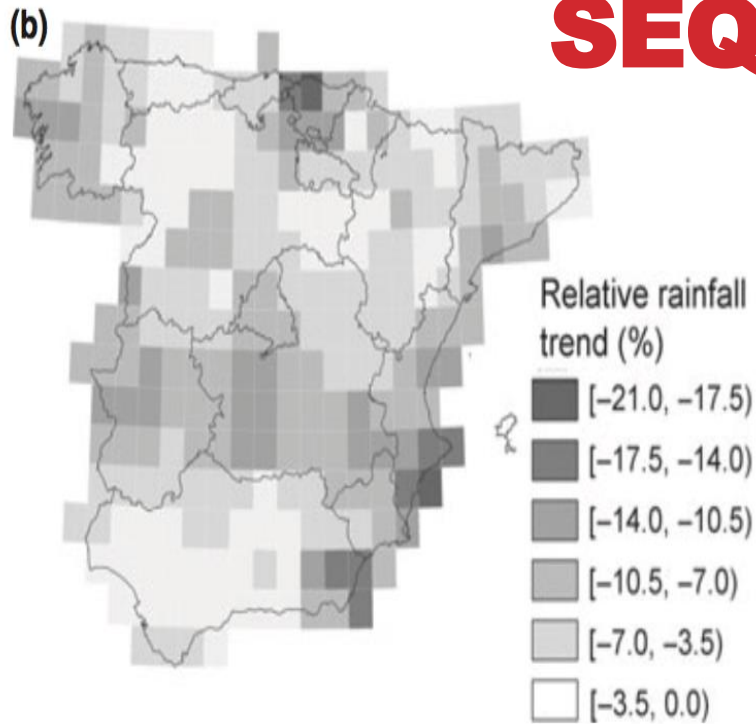


**Figure 1.** (a) Two options for a given forest stand and the resultant tree survivorship following a wildfire event. (b) The carbon accounting consequences of two possible options for a given forest stand and the results following a wildfire event. The cubes represent the amount of carbon remaining in the ecosystem after wildfire.

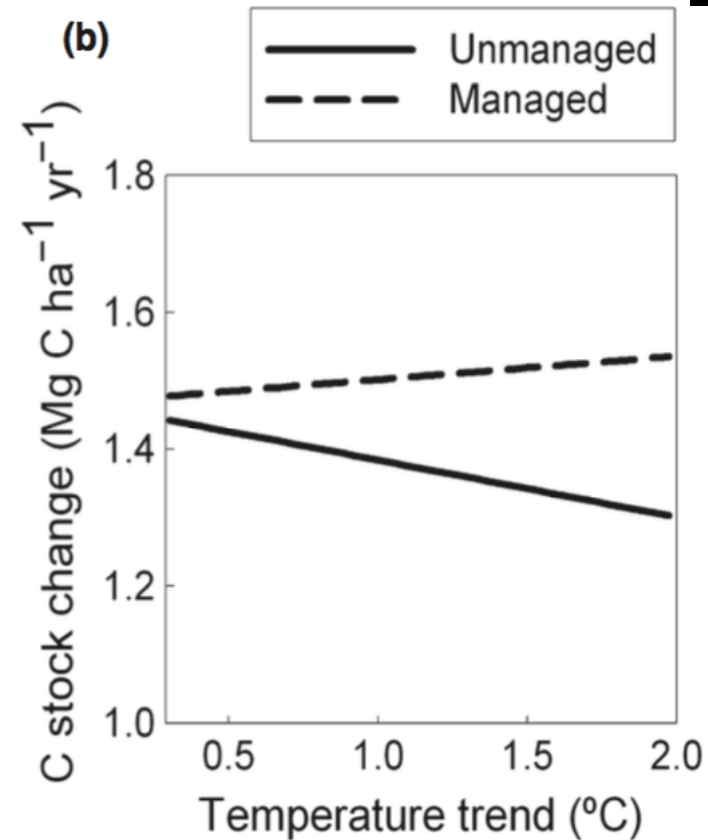
Hurteau et al., 2008 (Front Ecol Environ, 6(9),493-498, doi:10.1890/070187)

# SEQUÍAS Y C.C.

Cambios en régimen de perturbaciones (fuego, decaimiento/muerte x sequía..) que afectan a la provisión de B/S



< cremento y < tasas de acumulación de C sin gestión forestal en zonas con afección del Cambio climático (Vayreda et al., 2012)

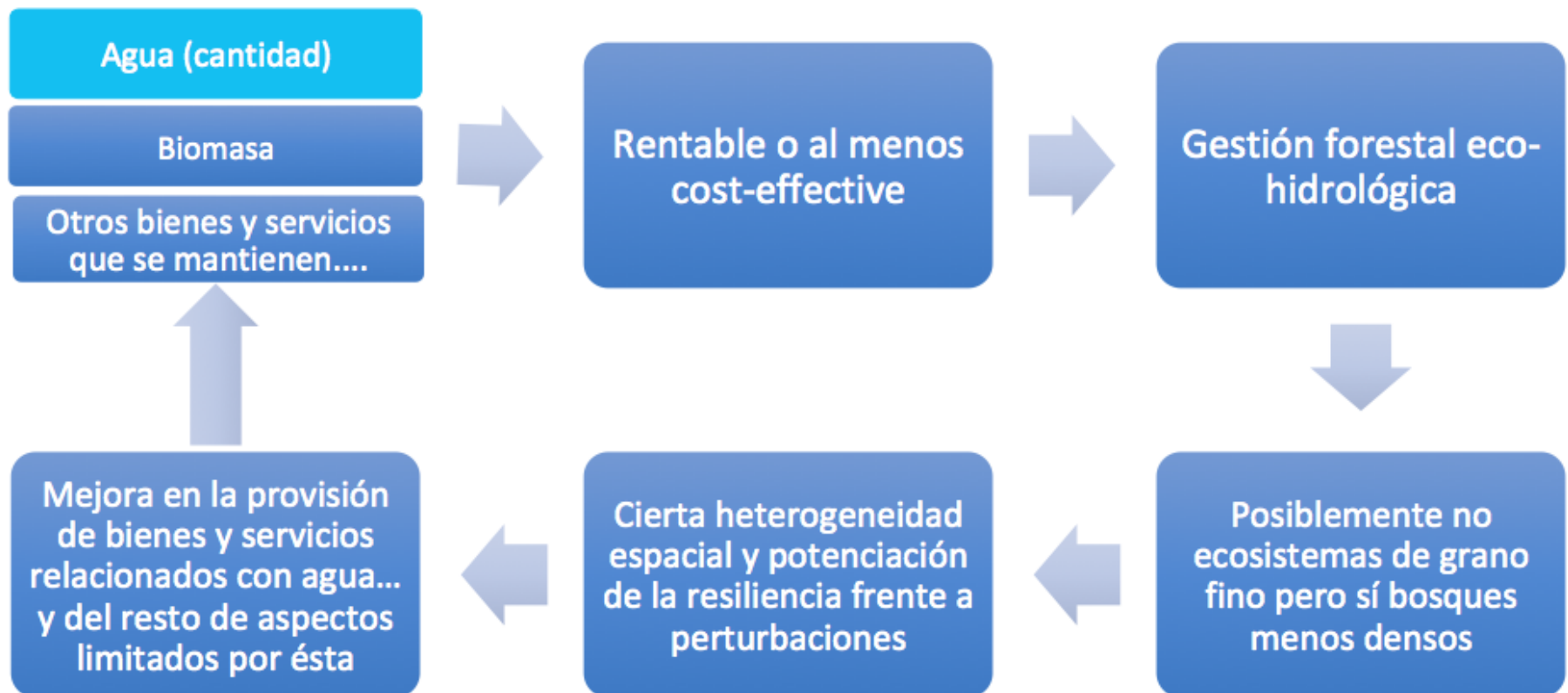


# GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE

Lagergren y Jönsson (2017): debe cumplir con **objetivos económicos, ecológicos y sociales** de forma sostenible, teniendo en cuenta **sinergias y efectos antagónicos entre** los distintos **servicios ecosistémicos**, donde el **cambio climático agrega complejidad** a los procesos y funciones, **nuevos objetivos** (sumideros de C) y **amenazas** (decaimientos x sequía, fuego, etc.)

El reto: integrar y valorizar estos SS.EE. (agua, C/biomasa, riesgo incendio, > resiliencia)

Articularlo en base al **AGUA** (balance hídrico del bosque) → **Agua lo relaciona todo**, el agua como producto forestal

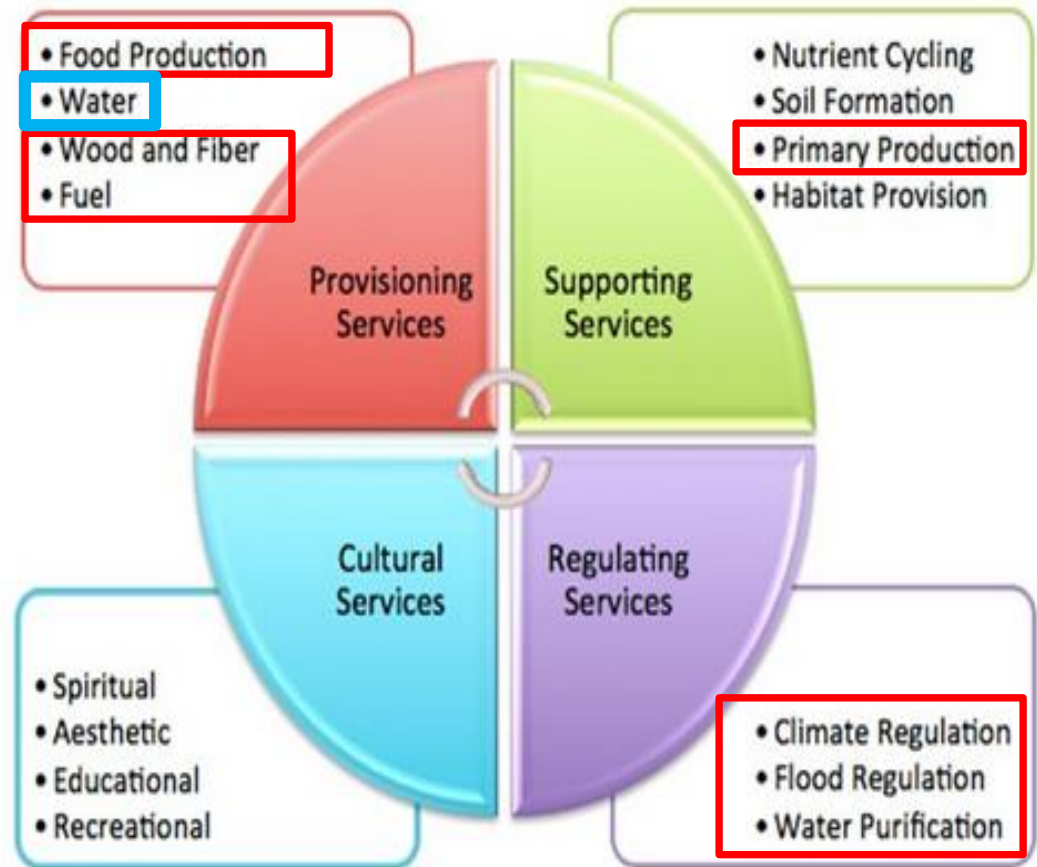




# BOSQUES-AGUA EN CLIMAS SEMIÁRIDOS

- **Agua:** un "producto forestal" como madera, fibra, ...
- En estos casos, la provisión de agua (cantidad y calidad) puede ser un **recurso valioso** que podría optimizarse
  - **Selvicultura hidrológica**

## Forests provide ecosystem services



Source: Millenium Ecosystem Assessment, 2005.

# RELACIONES BOSQUE-AGUA

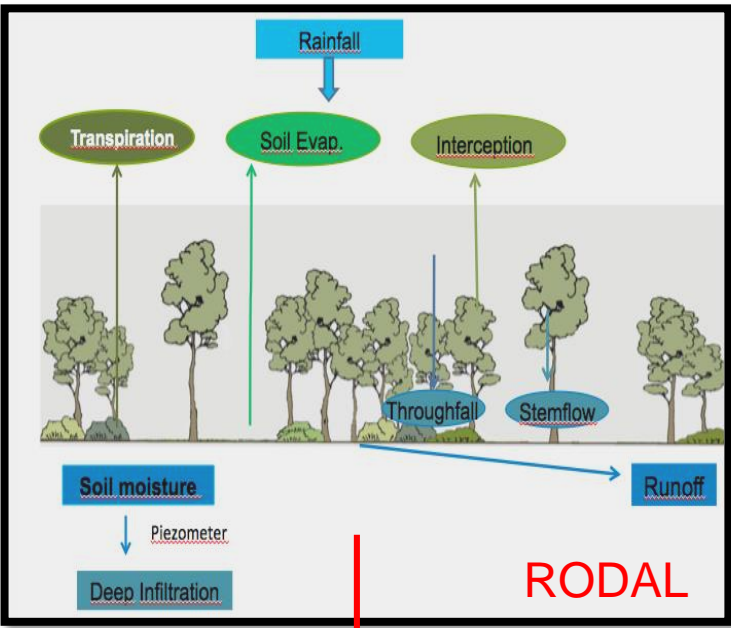
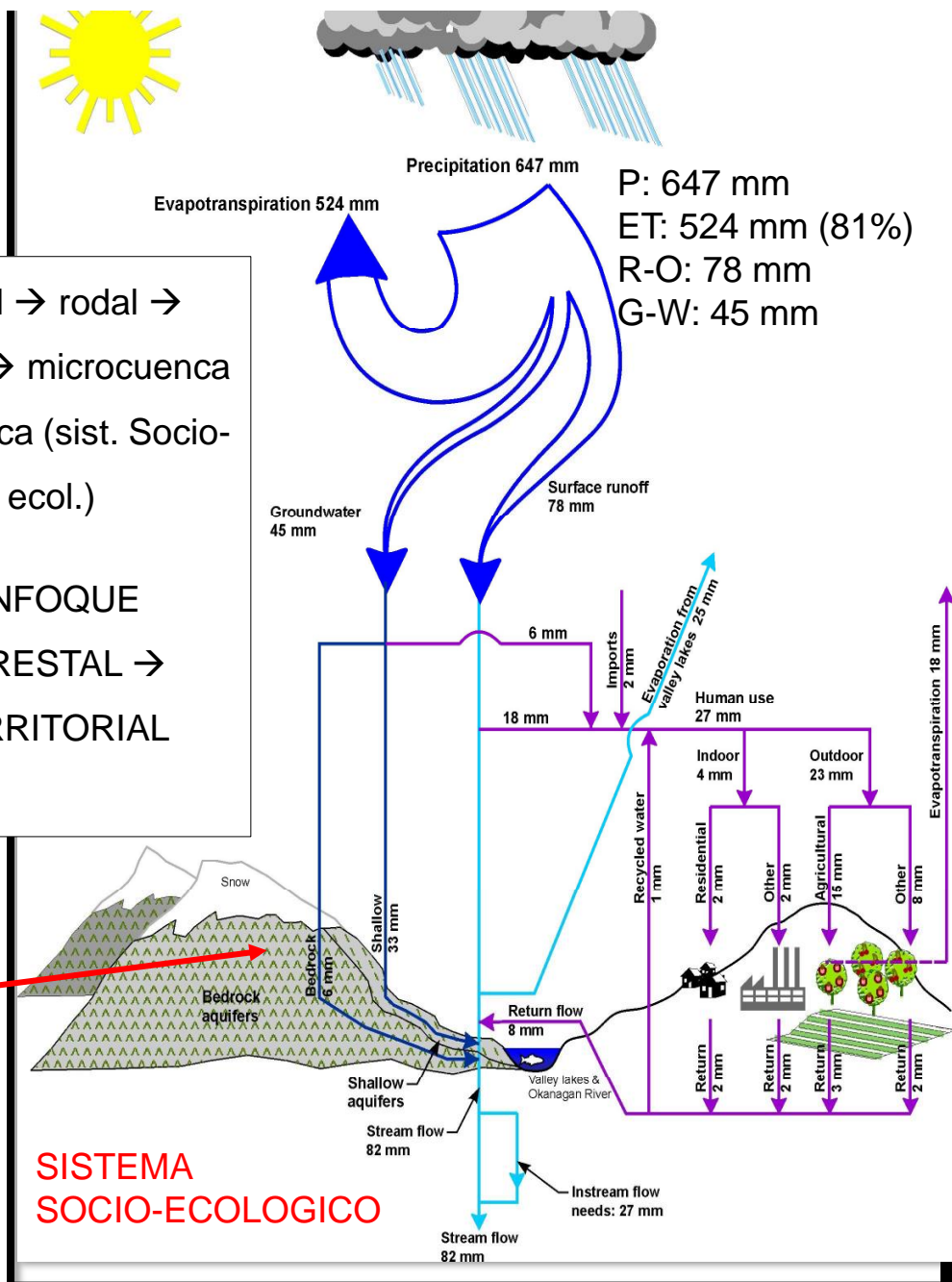
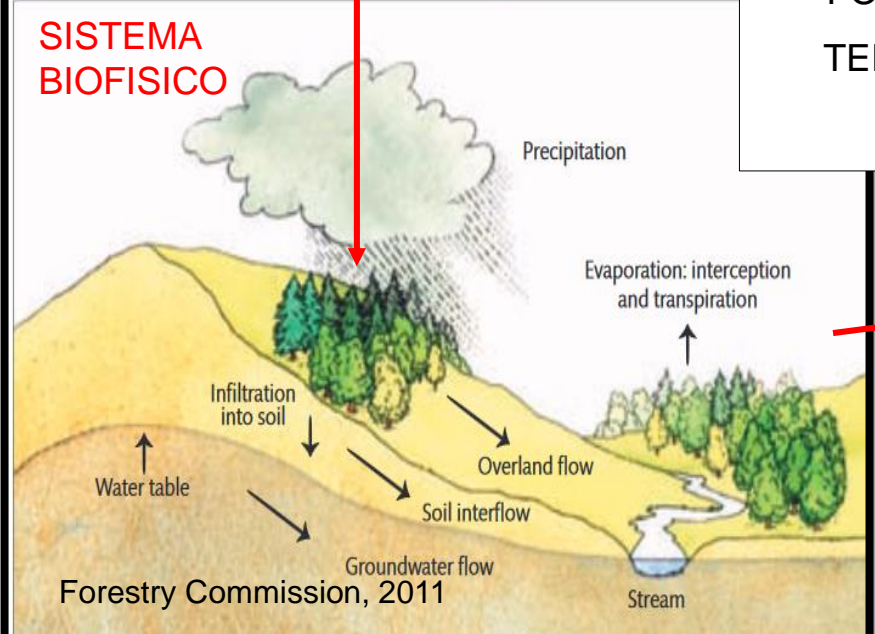


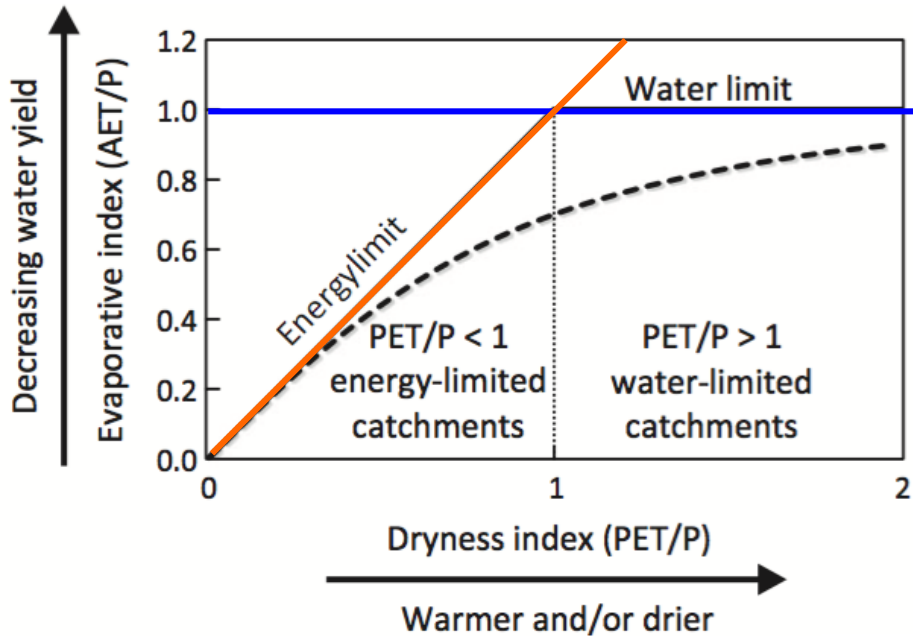
Figure 3.8 The water cycle. Water can follow a number of different pathways through a river basin



Arbol → rodal →  
 ladera → microcuenca  
 → cuenca (sist. Socio-  
 ecol.)

ENFOQUE  
 FORESTAL →  
 TERRITORIAL

# BOSQUES-AGUA EN CLIMAS SEMIÁRIDOS



En **climas semiáridos**,

→ ↓↓ P + ↑↑ ET →

→ **Bosques tienen un > impacto relativo en la ET**

→ **Agua Verde >>> Agua azul**

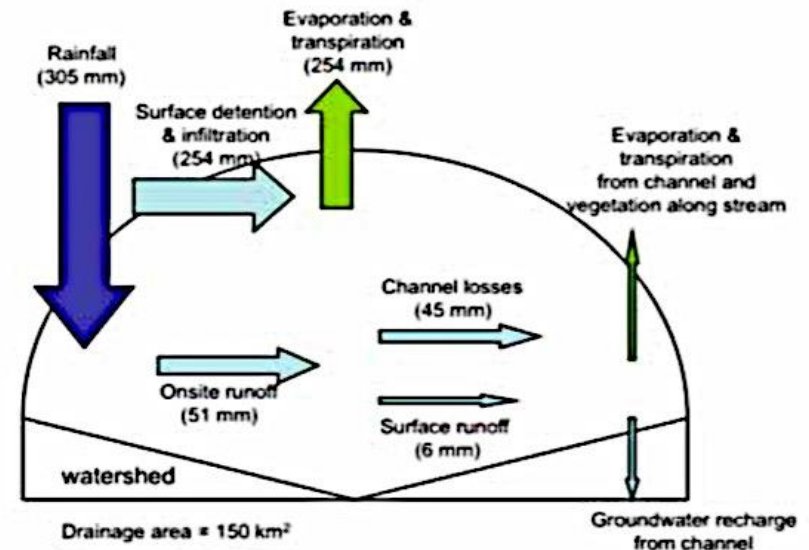
P: 305 mm; ET: >90%; RO: < 5%;  
GW: resto

$$ET = T + I_t + E_s + E_o$$

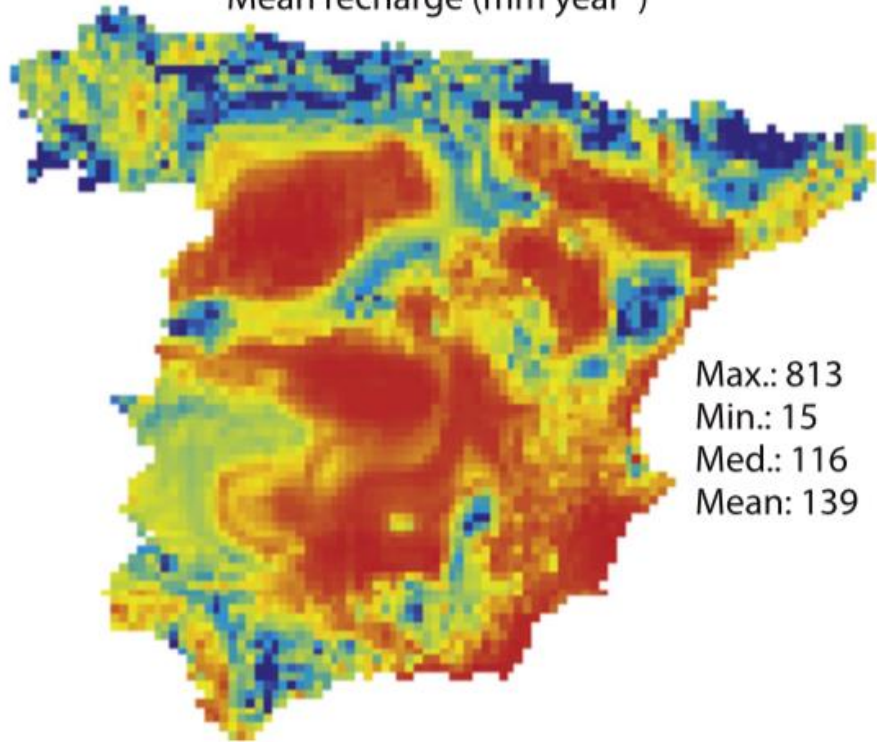
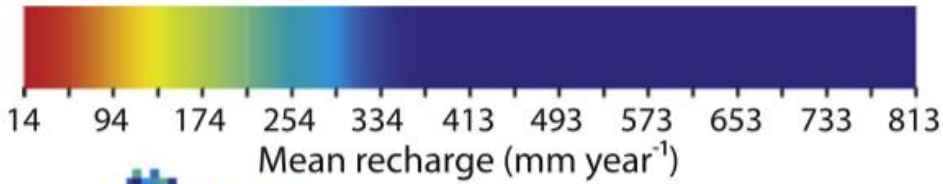
## Límite hídrico AET = P

- Una cuenca no puede superar la línea azul a menos que haya una entrada adicional de agua más allá de P.

## Límite de energía: AET = PET

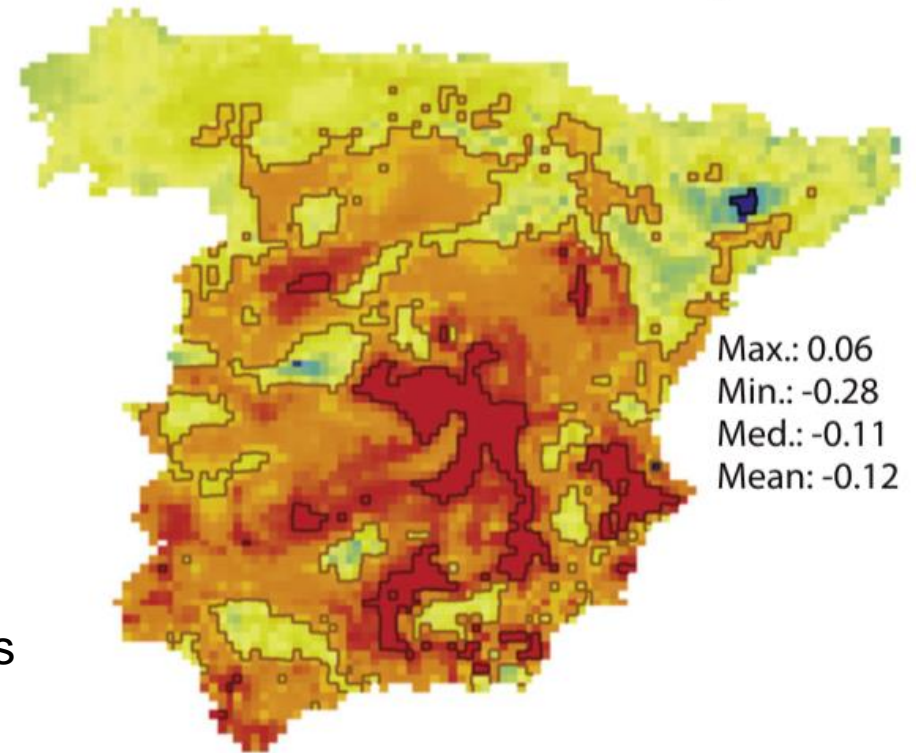
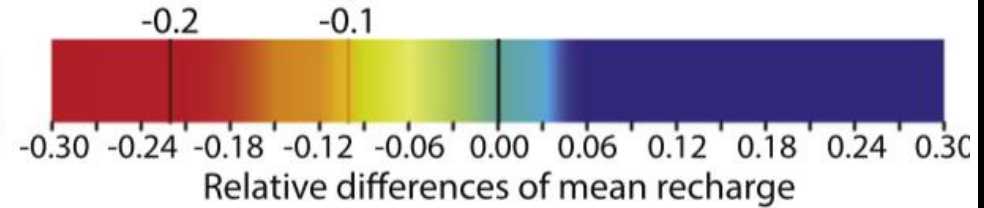


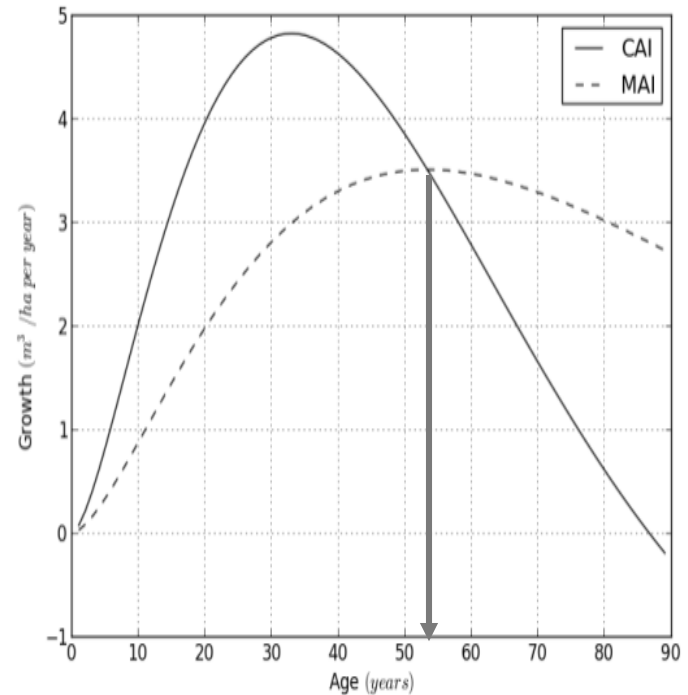
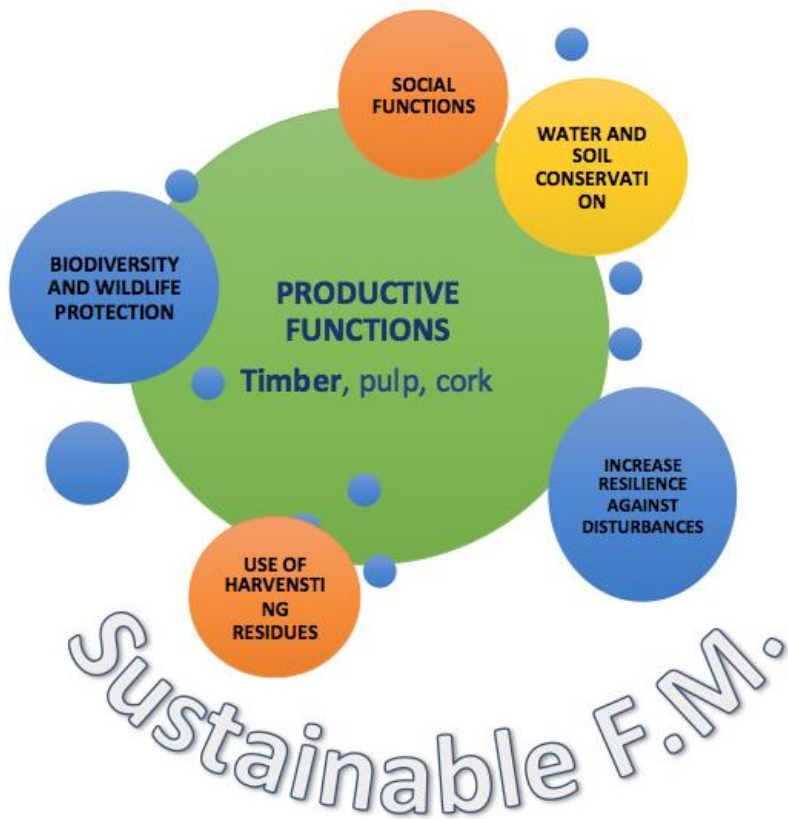
# Cambio global = climático + socioeconómico → > interacciones



Recarga de acuíferos neta histórica (NAR) (mm year<sup>-1</sup>), y diferencias relativas adimensionales entre escenarios históricos y futuros (media ocho escenarios)

Pulido-Velazquez, et al. 2017. J. Hydrol.  
DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.077

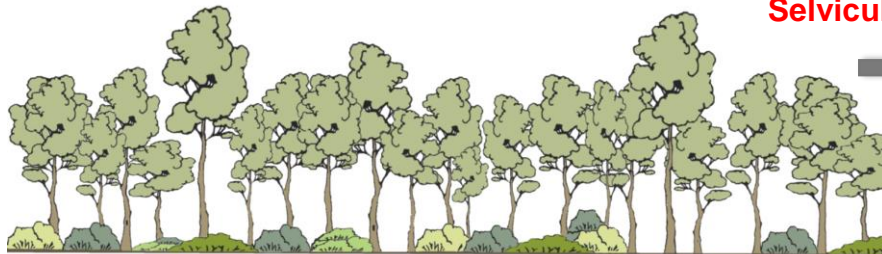
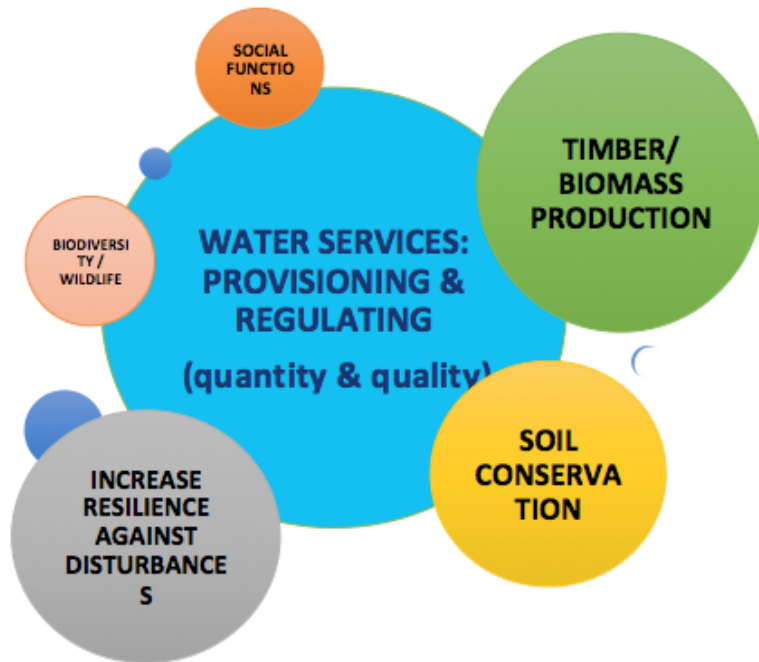




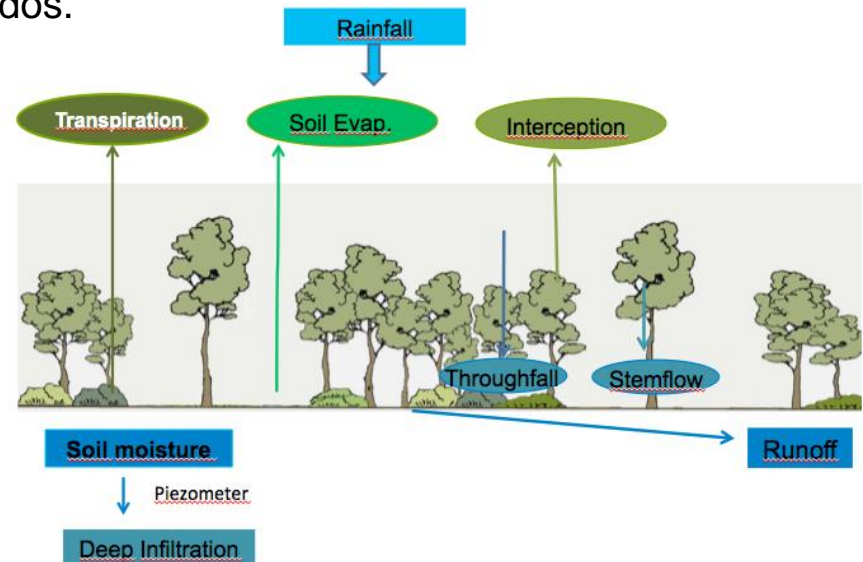
## Gestión forestal:

- **Uso sostenible de los recursos naturales, es decir, bienes y servicios**
- **Sin embargo, decisiones clave en la planificación y gestión forestal:**
  - Turno, métodos de regeneración, forma fundamental de masa, densidad, curvas de calidad, etc.
- **Diseñadas para maximizar y mantener el crecimiento en biomasa, la ocupación del sitio, el rendimiento en madera/corcho/biomasa ...**

# CAMBIO DE PARADIGMA



Selvicultura



**Gestión forestal orientada a la eco-hidrología:** *manipulación y cuantificación del ciclo del agua en los bosques de acuerdo a objetivos específicos:*

- *Recarga acuíferos,*
- *Aumento caudales*
- *Riego del bosque (incendios, decaimiento,..)*
- *Protección suelo de erosión*
- *Visión centrada en el agua*
- *Madera / Biomasa sigue siendo importante*
- *Otros bienes y servicios son considerados y cuidados.*

# CONTEXTO BIOGEOGRÁFICO Y FORESTAL → ZONAS CON ESCASEZ

SOURCE: STRATEGIC FRAMEWORK ON MEDITERRANEAN FORESTS: FAO

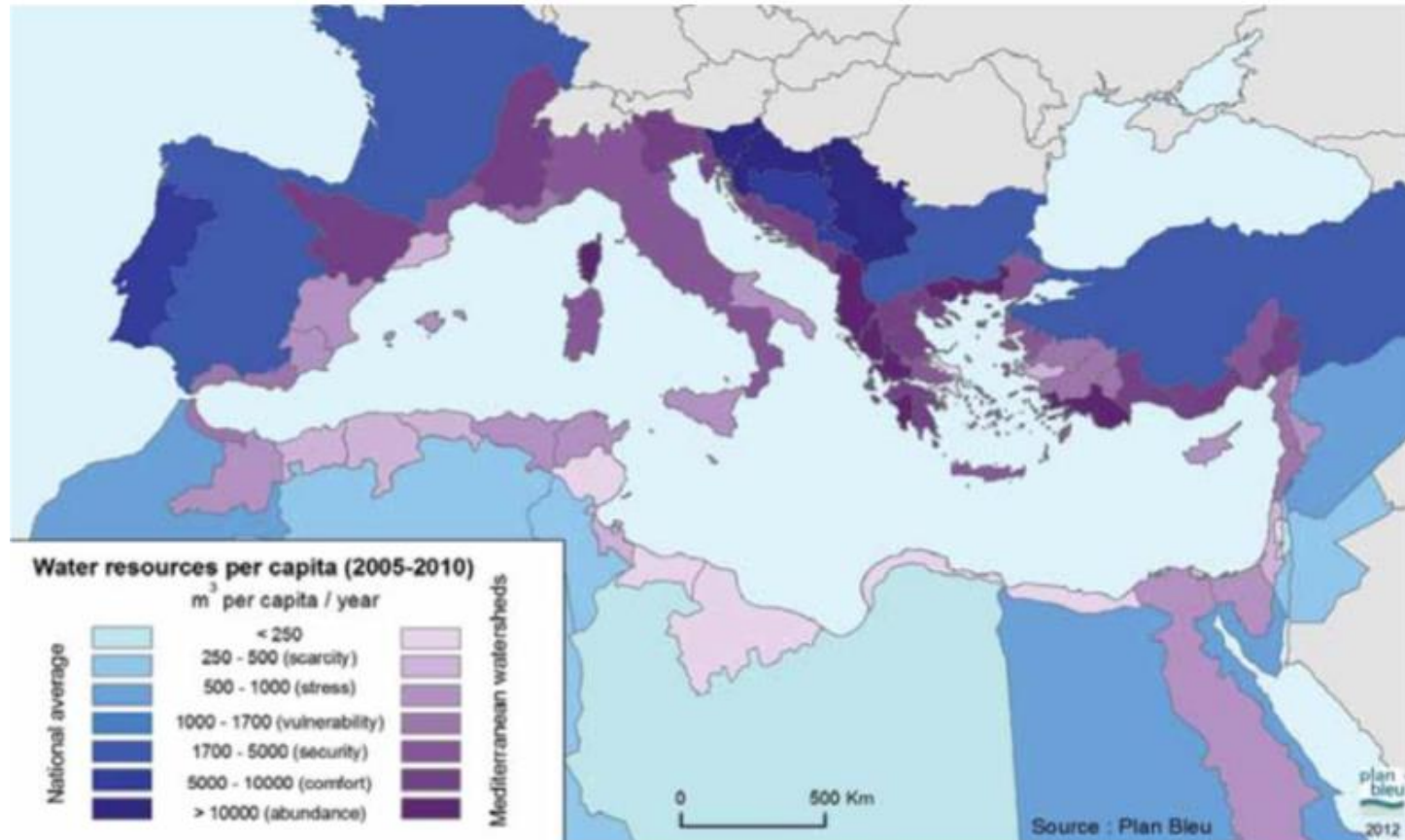


Figure 7: Water resources per capita in watersheds around the Mediterranean Sea

Source of data: Plan Bleu

# BOSQUE + CLIMA + SUELO/LITOLOGÍA + FISOGRAFÍA

D. Pulido-Velazquez et al. / Journal of Hydrology (2017)

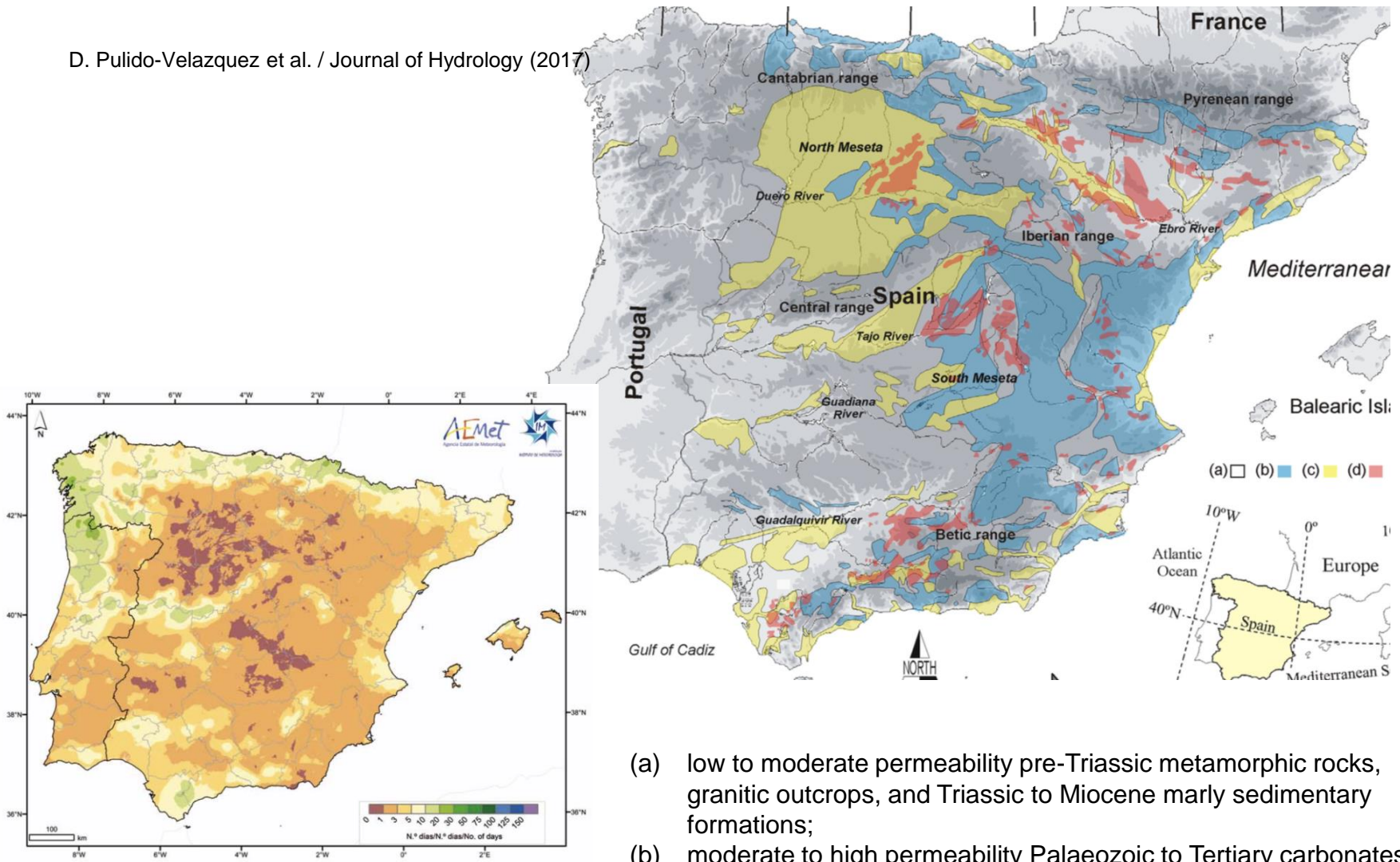


Fig. 97. Número medio anual de días con precipitación  $\geq 30$  mm.  
 Número médio de dias com precipitação  $\geq 30$  mm anual.  
 Average number of days with precipitation  $\geq 30$  mm annual.

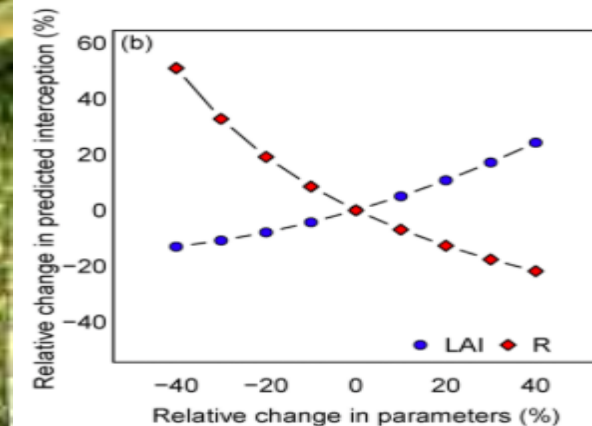
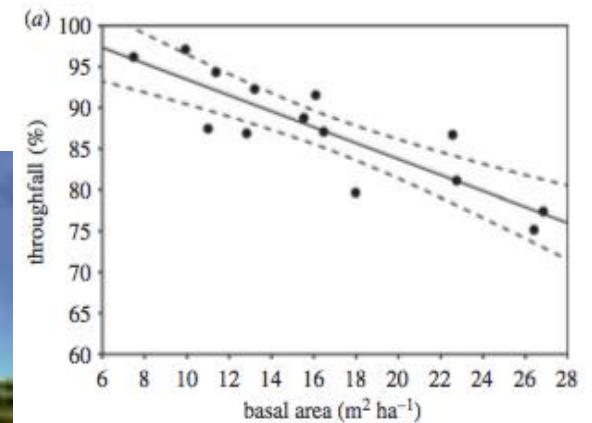
- (a) low to moderate permeability pre-Triassic metamorphic rocks, granitic outcrops, and Triassic to Miocene marly sedimentary formations;
- (b) moderate to high permeability Palaeozoic to Tertiary carbonates;
- (c) moderate to high permeability Plio-Quaternary detritic materials;
- (d) Triassic to Miocene evaporitic outcrops.



# CÓMO HACER SELVICULTURA ECO-HIDROLÓGICA?

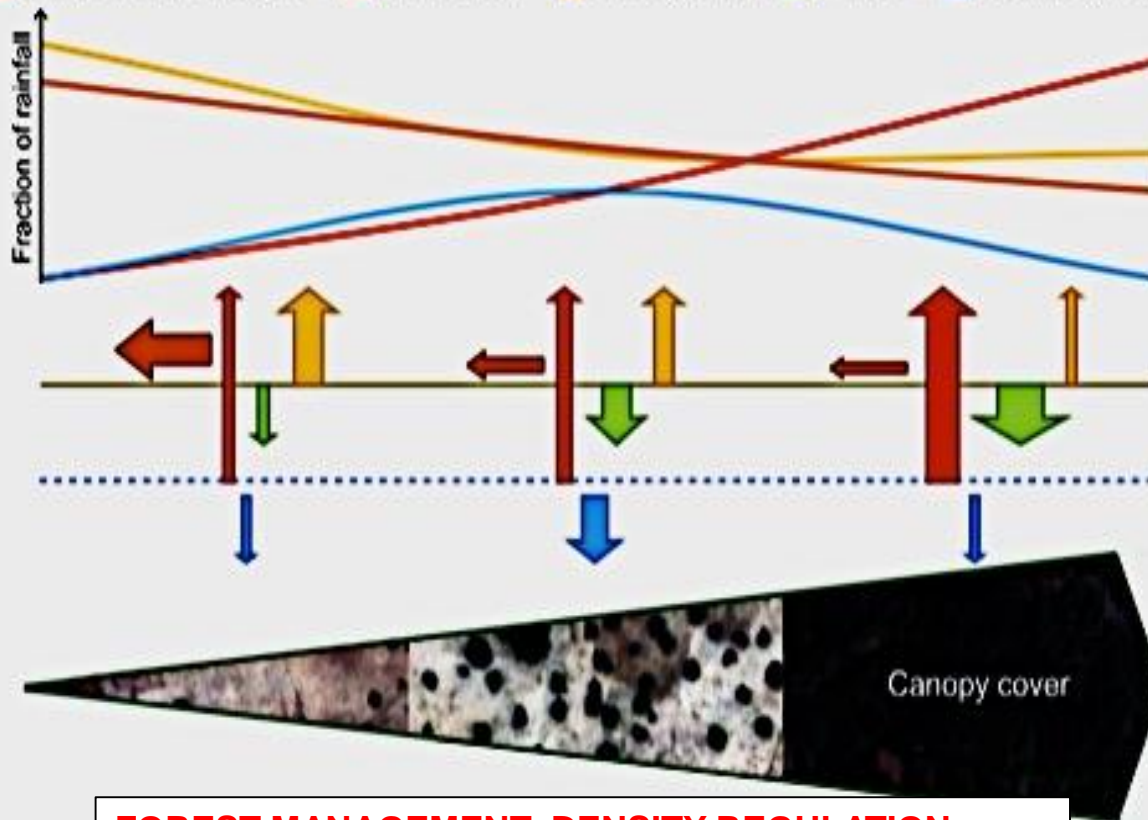
Necesario:

- **Entender** el comportamiento hidrológico de los sistemas silvícolas actuales
- aprender a **manipularlo**: f (estructura del bosque, clima, suelo/geología, fisiografía)
  - → específico del sitio
- **Integrarlo** y modelarlo en un contexto de **cuenca**



# COMO? : MANEJO DE LA ESTRUCTURA FÍSICA

■ Transpiration and interception ■ Surface runoff ■ Soil evaporation ■ Infiltration ■ Groundwater recharge



Curva de Budyko: ≠  
enfonce en húmedo  
(caudal) vs seco (acuífero)

→ Necesidad de almacenar  
en periodo humedo-frío

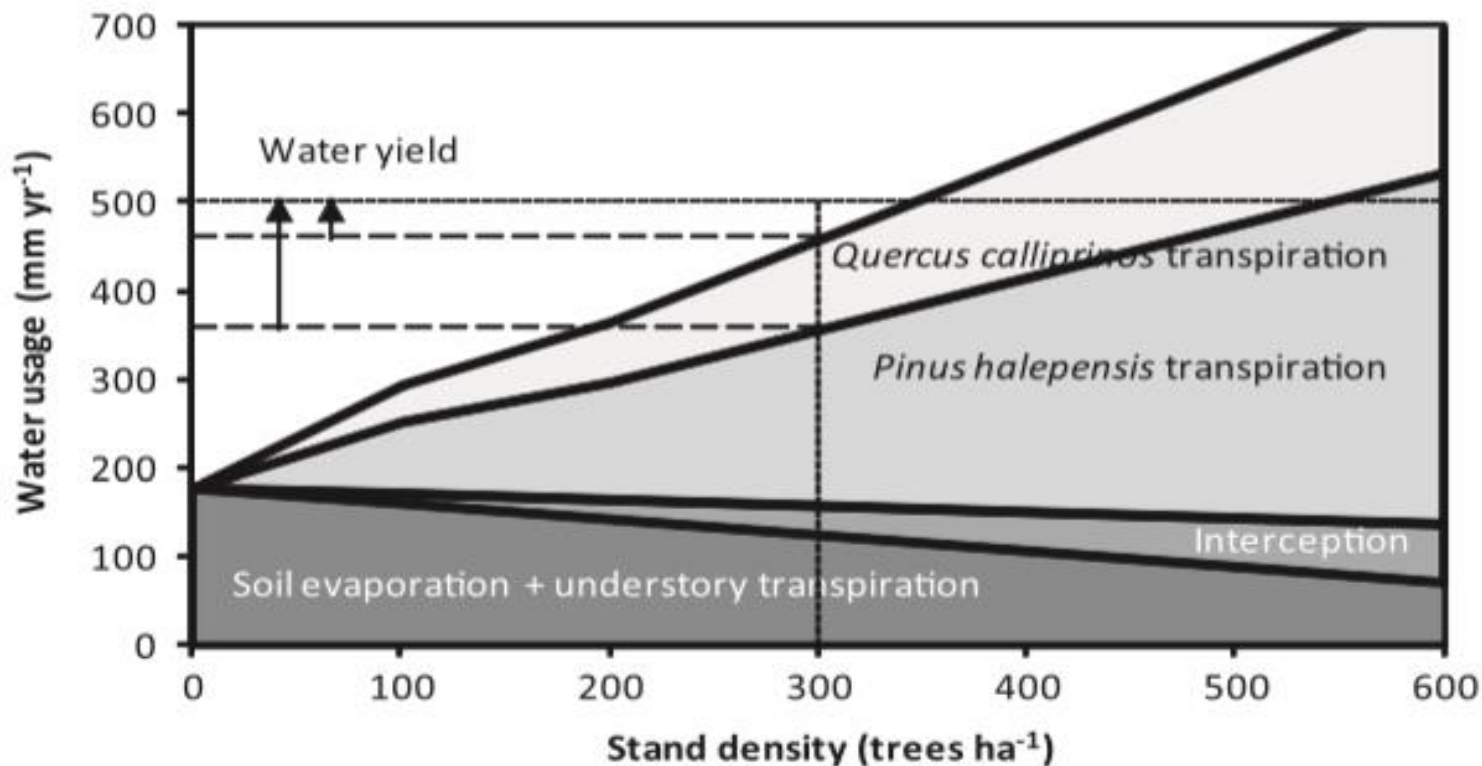
Istedt et al 2016:  
Scientific RepoRts,  
6:21930, DOI:  
10.1038/srep21930.

**FOREST MANAGEMENT: DENSITY REGULATION**

Figure 1. Conceptual water budget of the *optimum tree cover theory*. Optimum groundwater recharge

# COMO? : + MANEJO DE LA ESTRUCTURA BIOLÓGICA

T. Klein et al. / Forest Ecology



≠ consumo de agua de las ≠ especies / formaciones

→ Unido al debate de la migración asistida de spp/poblaciones y de los cambios en las distribución de hábitats de spp



## Pasos seguros → estructuras de bosque más abiertas y permeables

- ✓ Mejorar el balance hídrico
- ✓ Mejorar el crecimiento y el vigor del árbol / masa
- ✓ Mejora la sensibilidad al clima
- ✓ Disminuir la susceptibilidad de la masa al riesgo de incendios forestales
- ✓ Evitar deterioro del suelo y ciclos de nutrientes



No intervención



Tradicional:  
tangencia copas

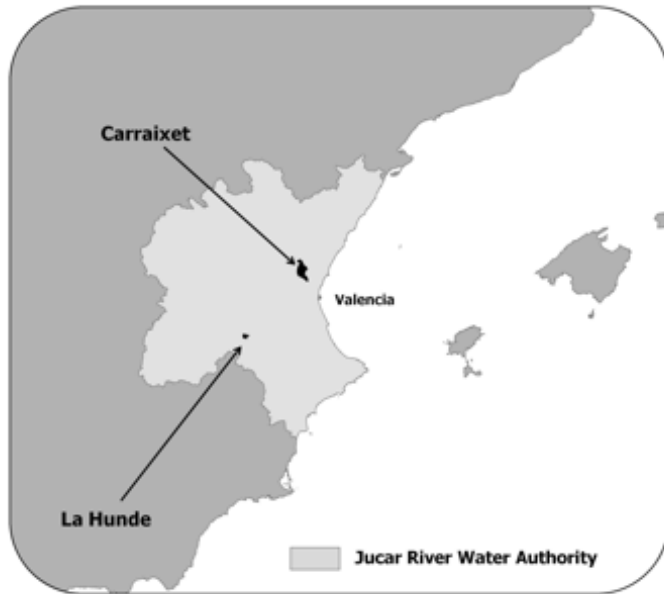


Silv. Adaptativa eco-  
hidrológica



Tiempo > > > > > → Condición futura proyectada

# EXTRACTO DE RESULTADOS EXPERIMENTALES



- ❑ Escasa comprensión y cuantificación de las relaciones bosque-agua-gestión for.
- ❑ Abandono, densificación, poca o ninguna gestión....
- ❑ Escasez de agua y gran demanda de la agricultura y sector urbano
- ❑ Incendios
- ❑ Sequías severas → Mortalidad, ataque escolítidos
- ❑ Creciente importancia de la biomasa

# Claros / resalveos / clareos → ESTRUCTURAS FORESTALES MÁS PERMEABLES Y RESILIENTES

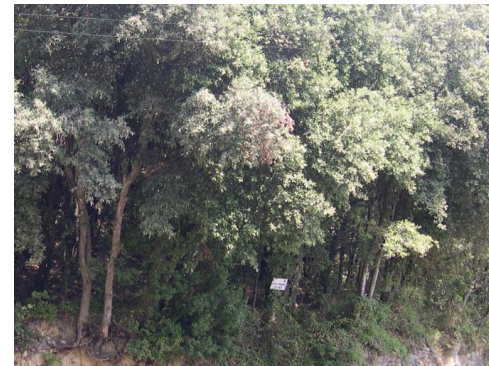
A) Plantaciones forestales maduras (> 50 años, conservación suelo)

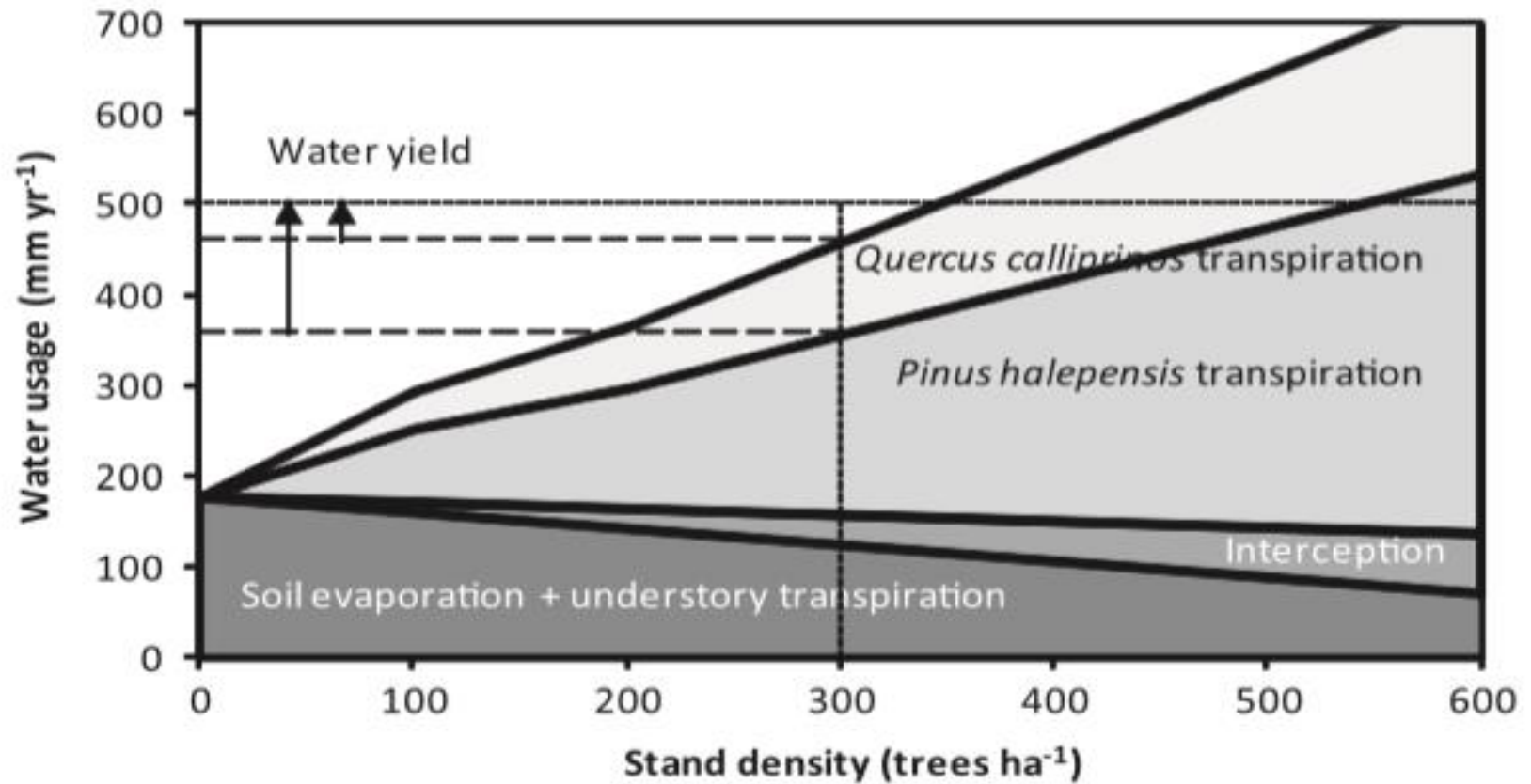


B) Regeneración post-incendio



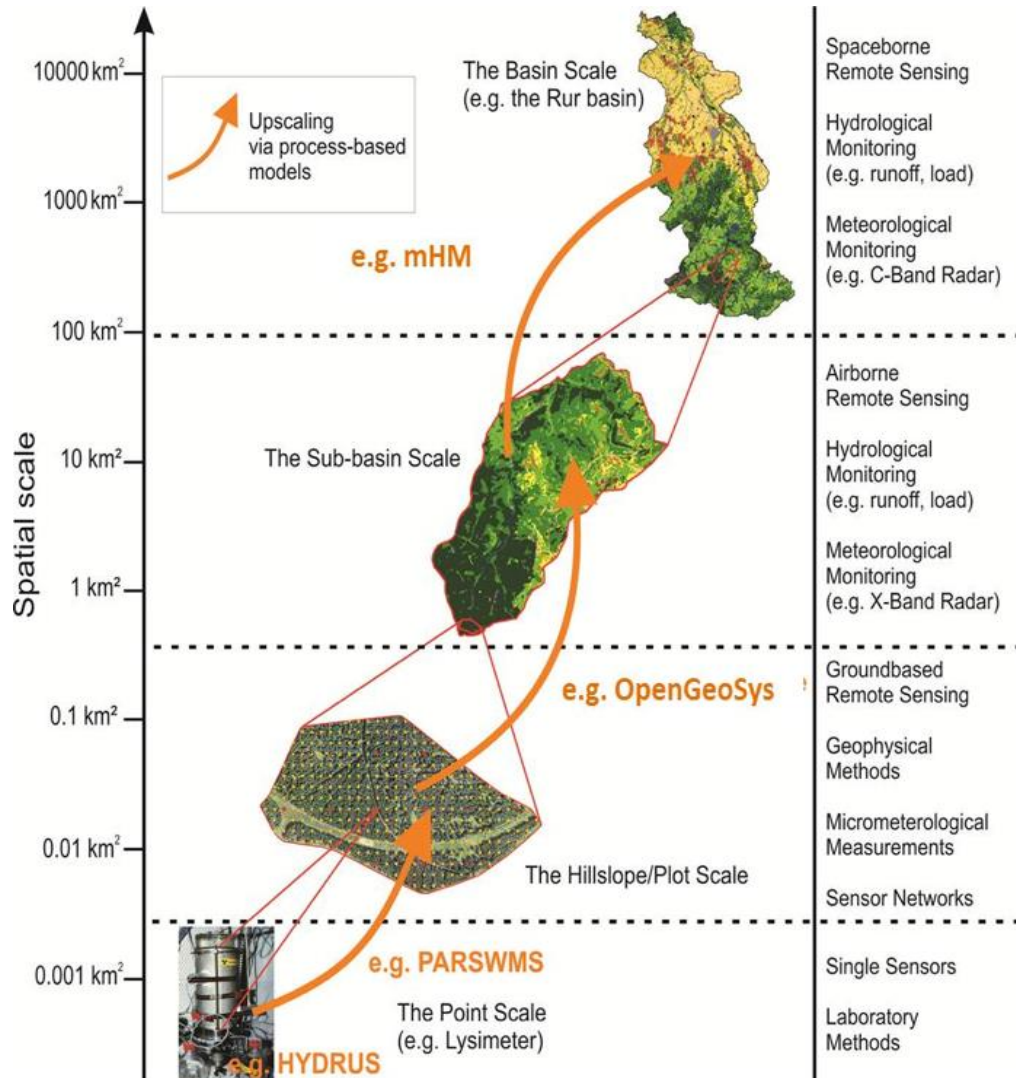
C) Monte bajo de encina





# ENFOQUE METODOLÓGICO: CUENCAS ANIDADAS

Nested catchment approach employed in TERENO Source: JÜLICH, <http://www.tereno-med.net/>



Escala	Tamaño representativo
Planta	1-100 m <sup>2</sup>
Parcela/ladera	100-10000 m <sup>2</sup>
Sub-cuenca	0.1-50 km <sup>2</sup>
Cuenca hidrográfica	>1000 km <sup>2</sup>

## Parcela:

- **balance hídrico** en la unidad básica (ej. píxel) útil para escalar hacia unidades de entidad superior
- Conocimiento integrado sobre la **ecohidrología** del ecosistema.
- Efecto de la **gestión forestal**



# DEL ENFOQUE EXPERIMENTAL AL MODELADO Y DSS

Conglomerado de estructuras forestales en la cuenca / monte: enfoque empírico + teledetección, modelos B-P, modelos numéricos (parsimoniosos),

**PROACTIVE-ADAPTIVE SILVICULTURE =  
Ecohydrologically-based Forest Management (EHFM)**

IMPROVE TREE/STAND  
GROWTH AND VIGOR

IMPROVE WATER  
BUDGET

IMPROVE SOIL  
PROPS. AND  
NUTRIENT CYCLES

IMPROVE TREE-  
CLIMATE  
SENSITIVITY

IMPROVE STAND  
SUSCEPTIBILITY TO  
WILFIRE RISK

Plot scale

MODELO DISTRIBUIDO DE  
CUENCA: ensamblaje y  
acoplamiento. > Escala  
espacial y temporal  
(planificación forestal).

Aspectos socio-  
económicos,  
PSA.

# TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES EN REGENERACIÓN POST-INCENDIO (CALDERONA)



- ▣ Clareo (y limpieza de matorral) se realizó en noviembre de 2012

# INSTRUMENTACIÓN EN CAMPO

## TRASCOLACIÓN



Canalones + pluvios/aforos

## ESCORRENTIA FUSTAL



Collares + pluvios

## TRANSPIRACION



Flujo de savia

## ESCORRENTÍAS



Zanjas y aforos

## AGUA SUELO



FDR sondas capacitivas  
Sensor rayos cósmicos

## RECARGA PROFUNDA



Piezómetros y  
sensores de nivel

## METEO

Estacion  
Meteo.



Muchas variables para estimar con diferentes sensores (electrónica), réplicas: CR1000 + 2 mutiplexores + 2 módulos de expansión > 100 sensores cada 5 s, 10 o 30 min



# REPOBLACIONES MADURAS HUNDE 2009-2011



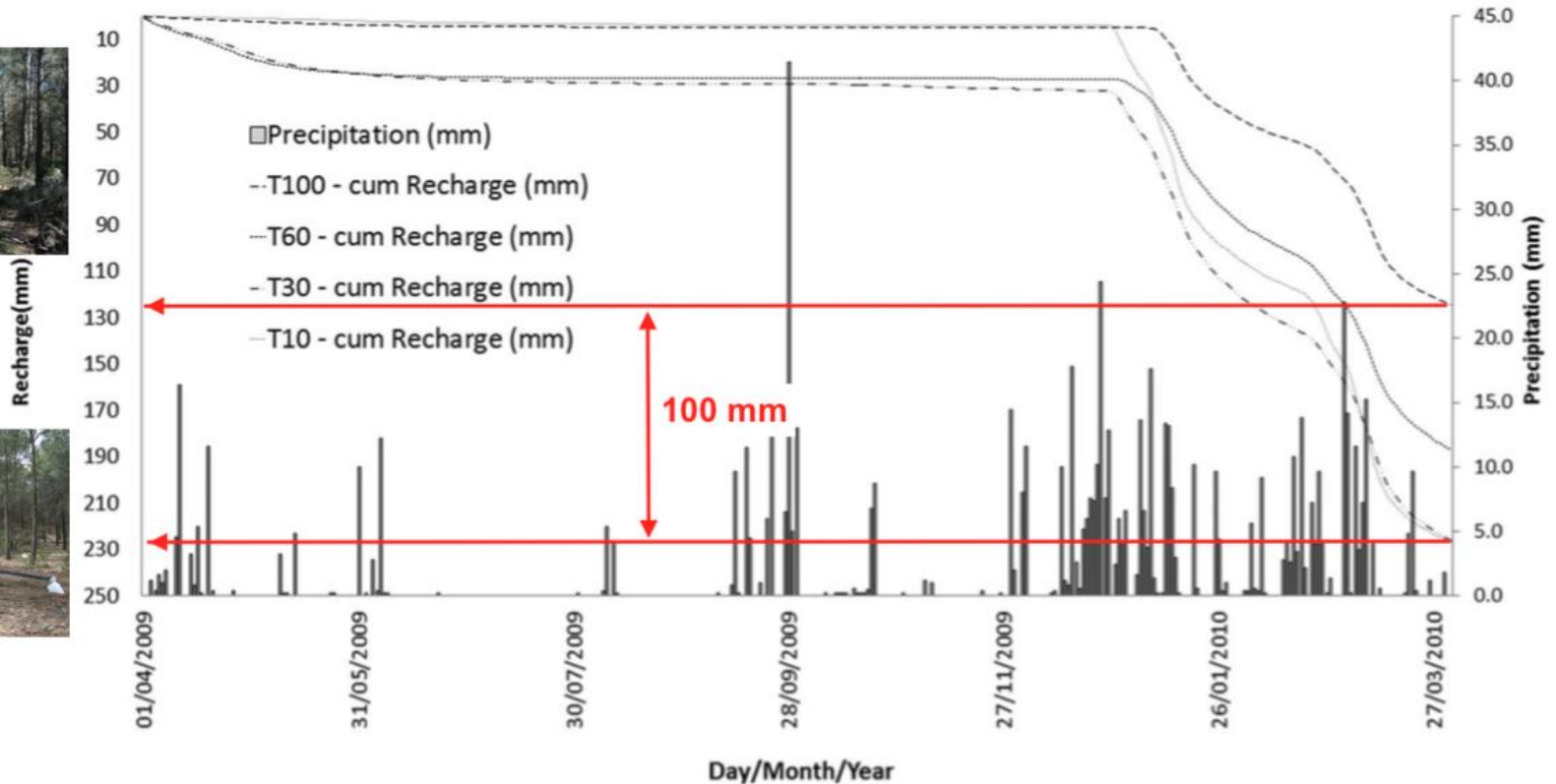
%	P	It	T	l>30 cm	E	ET total	B/G
C_84%	100	39.6	20.7	13.4	26.3	86.6	0.15
L_68%	100	33.5	17.1	25.6	23.8	74.4	0.34
M_50%	100	25.9	11.7	29.5	32.9	70.5	0.42
H_22%	100	12.4	16.9	41.9	28.8	58.1	0.72
H98_41%	100	27.1	10.9	32.3	29.6	67.7	0.48

+10years

P: gross rainfall; It: interception loss; Thr: throughfall; T: stand transpiration; l<sub>>30cm</sub>: deep infiltration; E: evaporation from soil, litterfall and grass/scrub transpiration.  
ET total: summing up of the evapotranspiration terms; B/G: blue (deep infiltration) to green (total evapotranspiration) ratio

# REPOBLACIONES MADURAS HUNDE 2009-2011

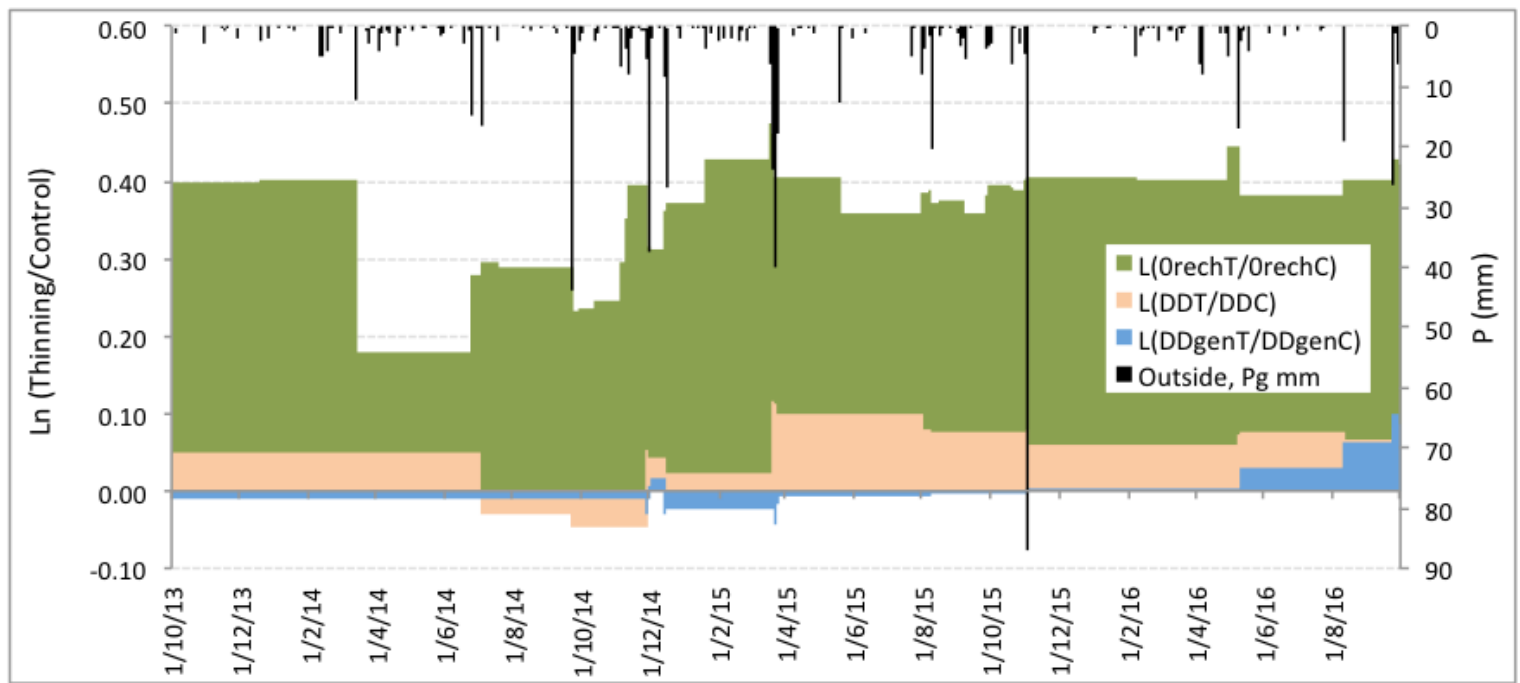
(DEL CAMPO ET AL., 2014, GRACIA-PRATS ET AL 2016)



**RECARGA  
HUMEDAD  
SUELO**

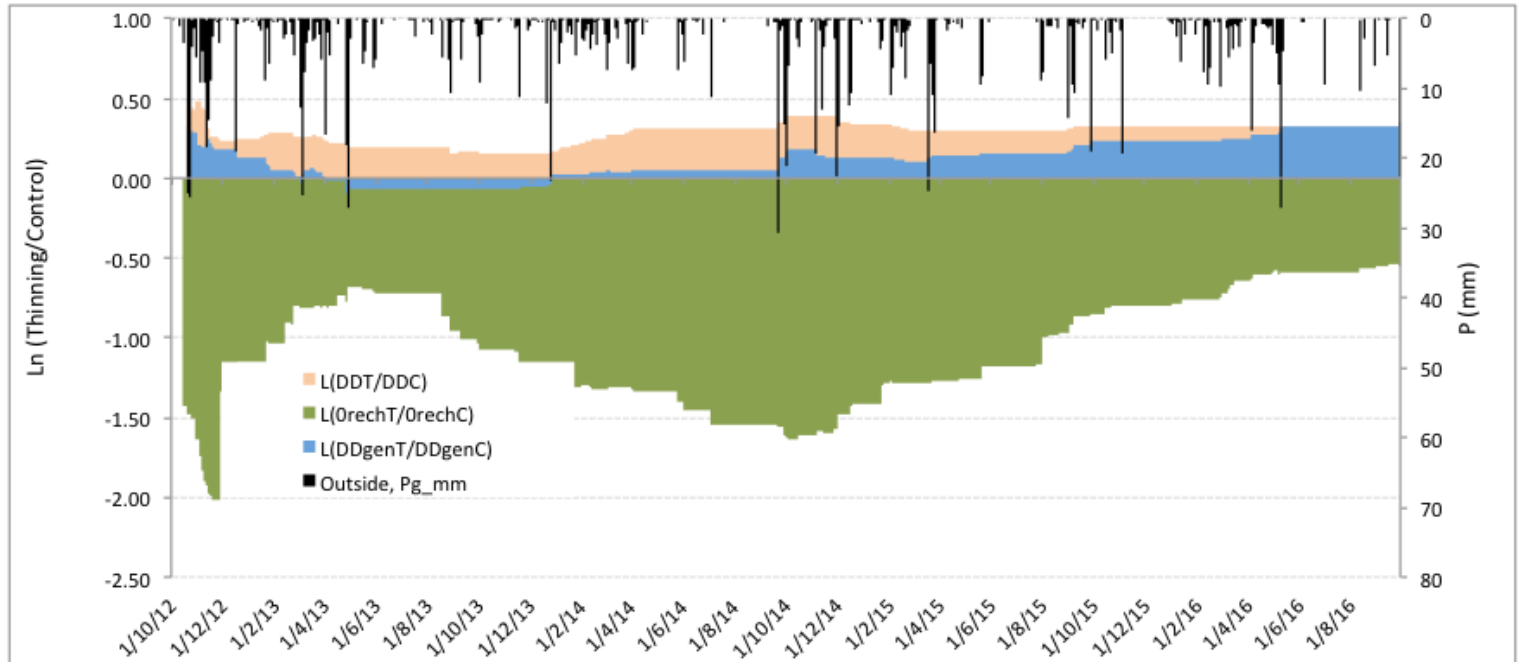
**DRENAJE  
PROFUNDO**

CALDERONA  
13-16



La HUNDE  
12-16

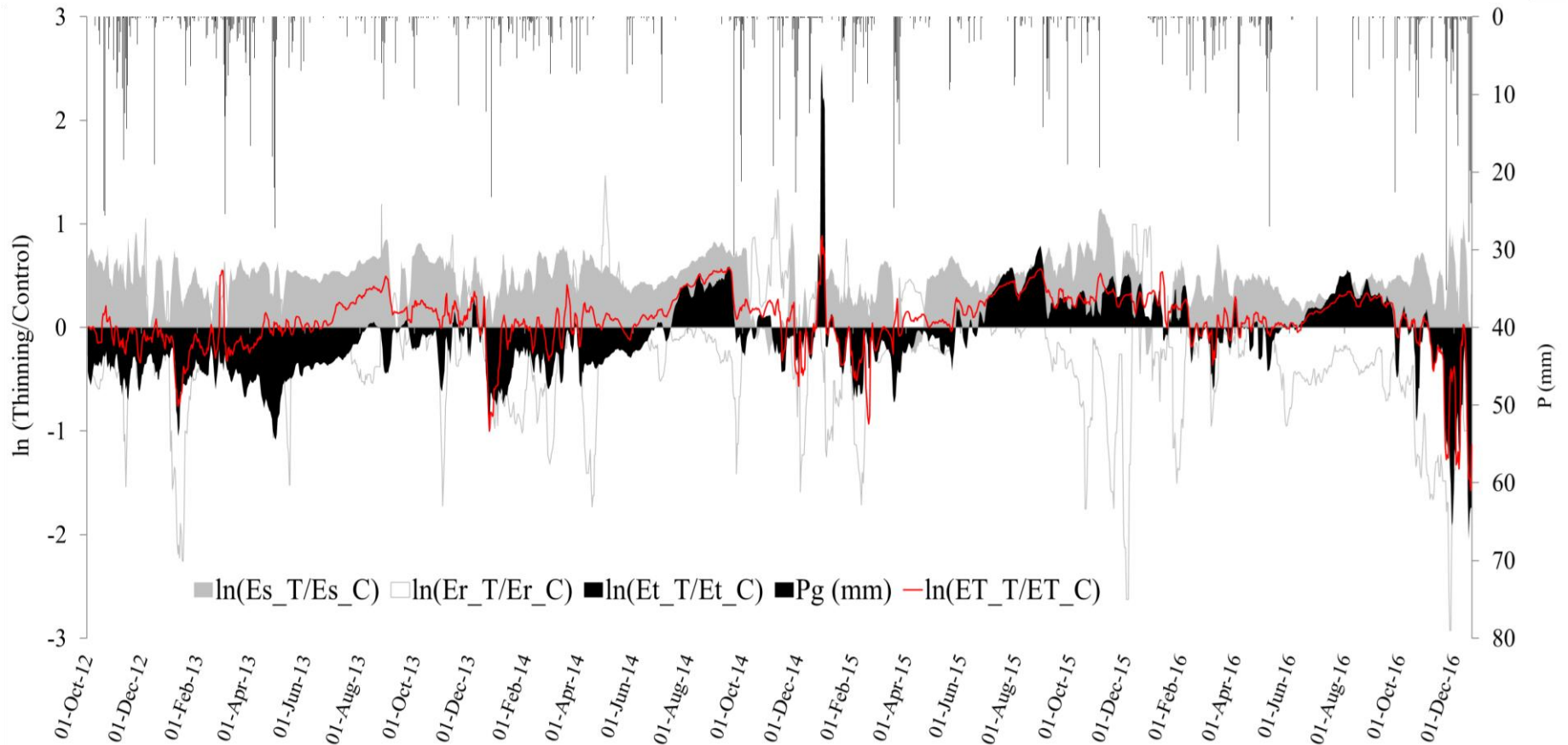
Diferencias en P  
Dinámica  
temporal  
Patron distinto  
HS



# EL RIEGO DEL BOSQUE

(WATERING THE FOREST FOR THE FOREST, *GRANT 2013*)

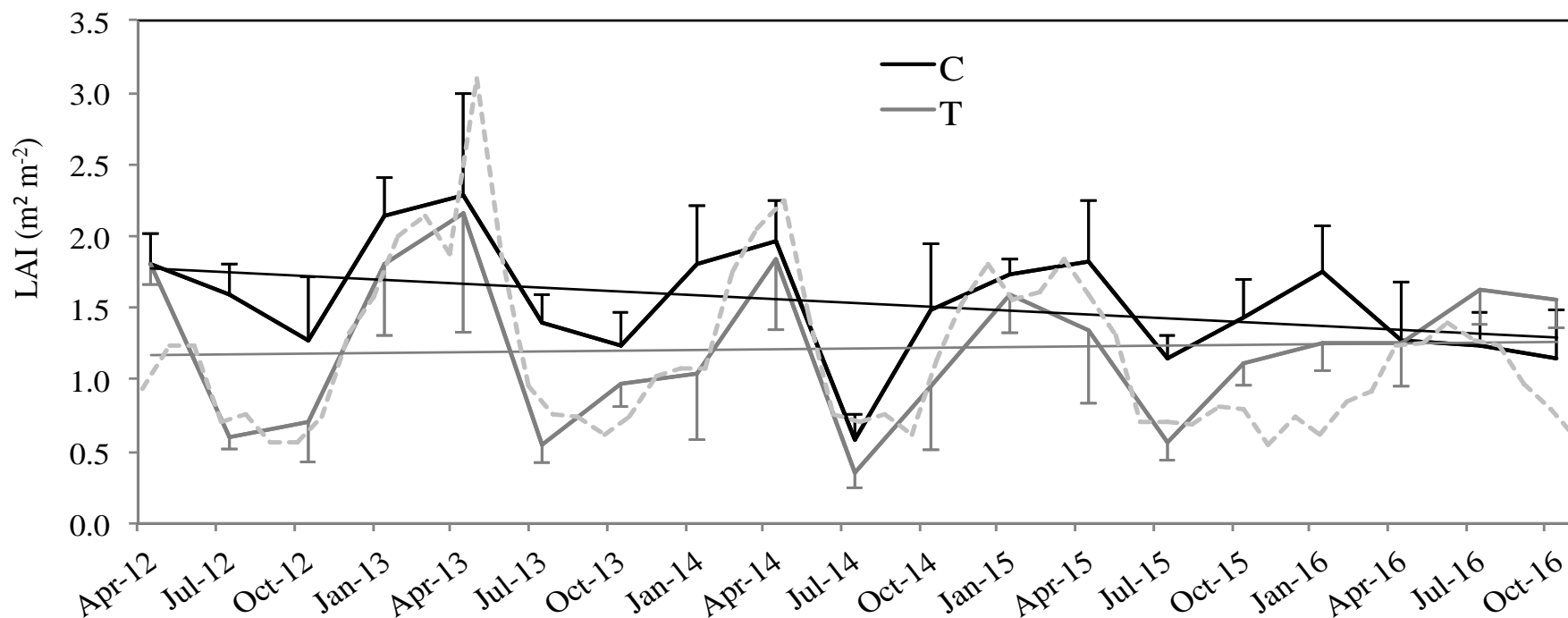
ET en QUIL (Hunde)  
Tratmto vs control



# EL RIEGO DEL BOSQUE

(WATERING THE FOREST FOR THE FOREST, *GRANT 2013*)

Evolución mensual del IAF en QUIL (Hunde): Tratmto. vs control

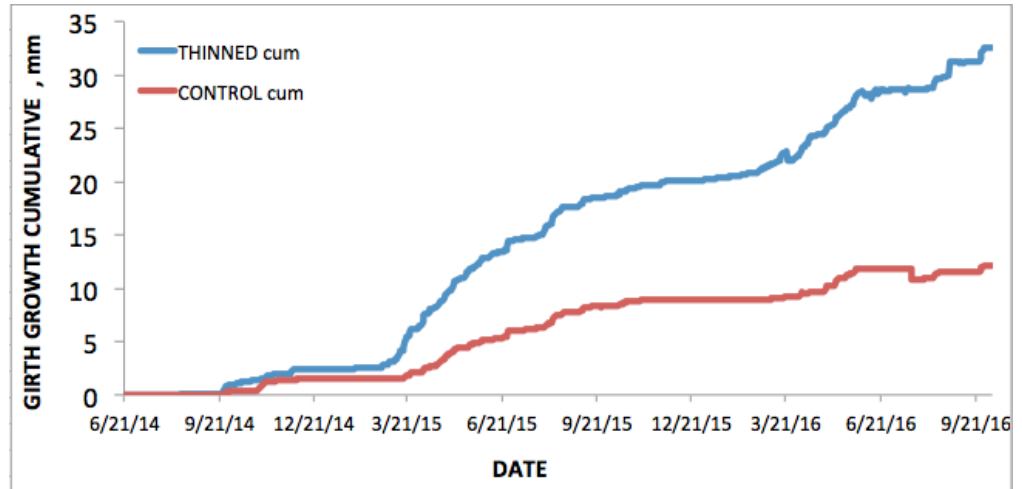




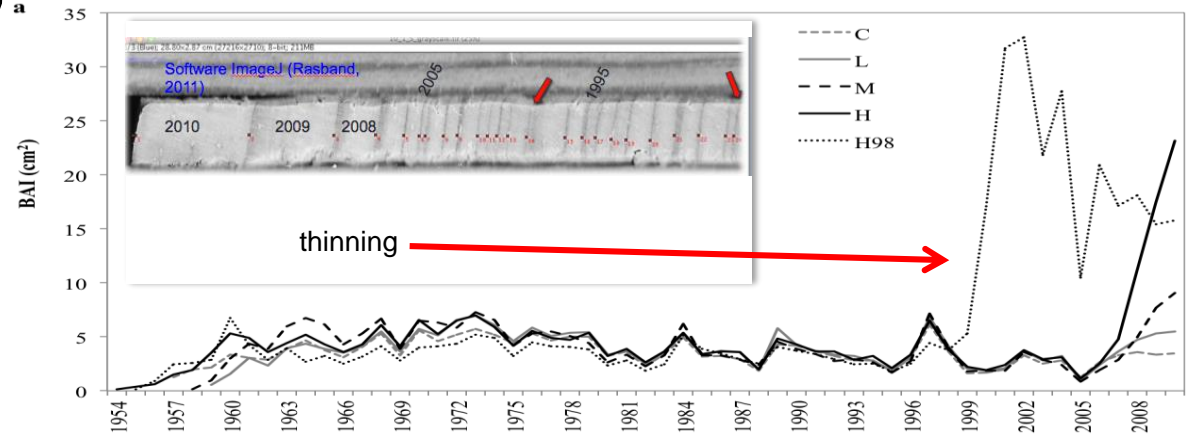
# CRECIMIENTO INDIVIDUAL DEL ARBOL

## Secondary growth

- Band dendrometers



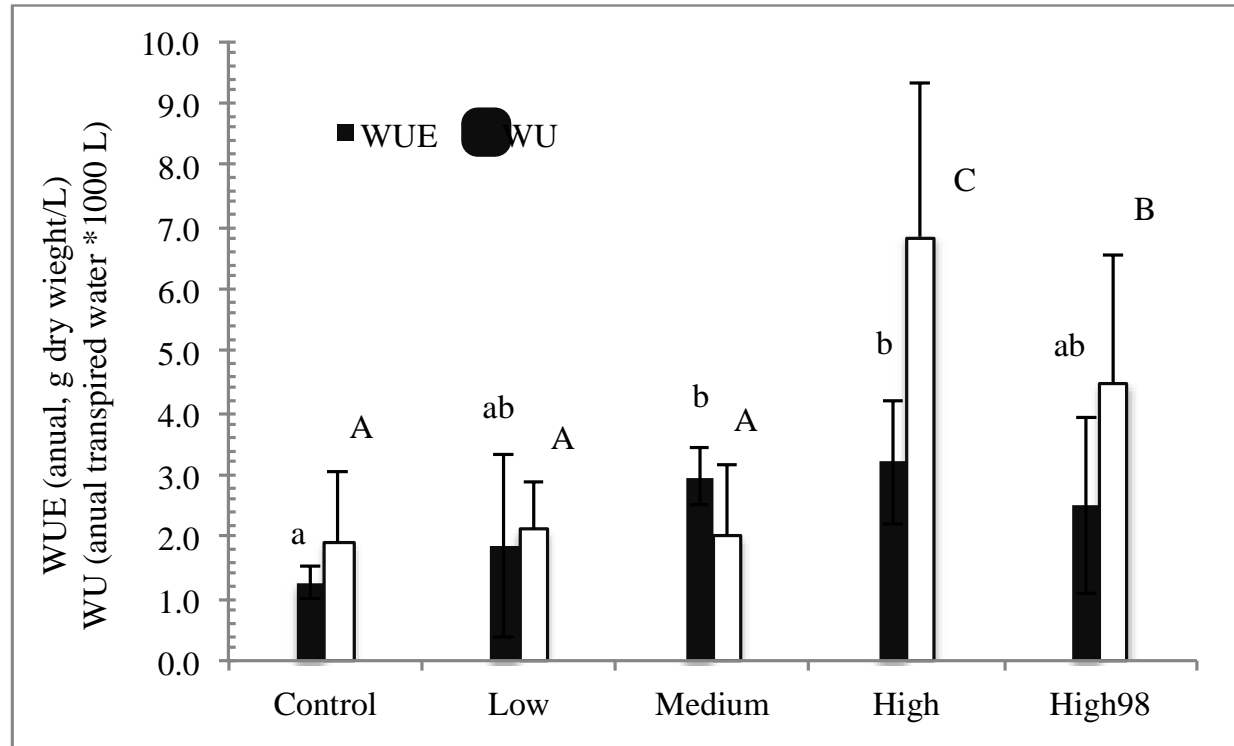
- Dendrochronology <sup>a</sup>



BAI: 4 → 15-20 cm<sup>2</sup> y<sup>-1</sup>

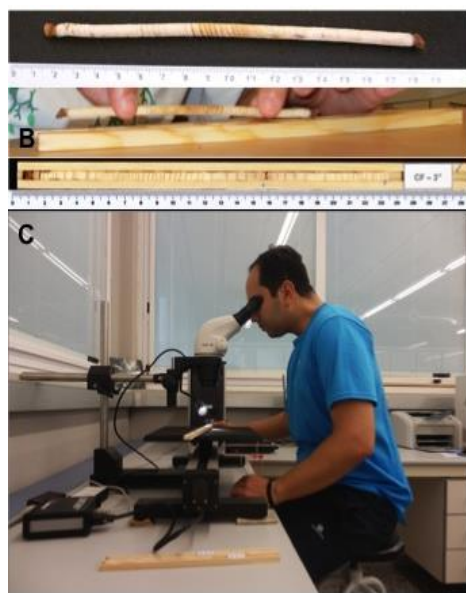
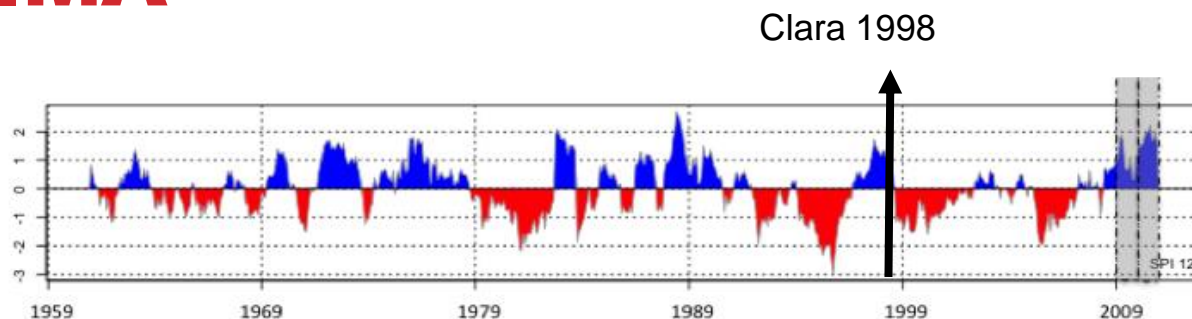
> **WU (T) + >> CRECIMIENTO**  
→ > **WUE**

$$WUE = C / H_2O$$



# MEJORA DE LAS RELACIONES ARBOL-CLIMA

> dependencia en CONTROL de la P mensual a lo largo del año actual en cualquier temporada



Tiempo	Tipo año	Parcela	Ancho anillo (cm)
Antes	SECO	Control	0.06 (a)
		Tratado	0.06 (a)
Clara	LLUVIOSO	Control	0.12 (a)
		Tratado	0.07 (a)
Después	SECO	Control	0.04 (b)**
		Tratado	0.33 (a)**
clara	LLUVIOSO	Control	0.06 (b)**
		Tratado	0.37 (a)**

AGR. & FOR. MET.: 2  
 J ENV. MANAGE.: 1  
 FOR. ECO. MANA.: 2  
 EJFR: 1

ECOL MODEL.: 2  
 IFOREST: 1  
 WRR: 1  
 STOTEN: 1

J HYDROL: 1  
 FOR SYST: 1  
 CLEAN: 1  
 J H & HYDROMECH: 1

FORESTS: 1  
 J WATERSHED S&M: 1  
 ECOL STUD SPRG: 2  
 --- = 18

# ECOHYDROLOGY-BASED FOREST MANAGEMENT

IMPROVE WATER BUDGET



Modeling adaptive forest management of a semi-arid Mediterranean Aleppo pine plantation

Marta González-Sanchis<sup>1,2</sup>, Antonio D. Del Campo<sup>1,2</sup>, Antonio J. Molina<sup>1,2</sup>, Tardío J.G. Fernández<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Edafología y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>2</sup>Centro de Investigación Biomédica en Redes Integrales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>3</sup>Centro de Investigación Biomédica en Redes Integrales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

Correspondence: Tardío J.G. Fernández (tardio@us.es)

IMPROVE TREE/STAND GROWTH AND VIGOR

Journal of Forest Research, 2016, 23(4): 333-340

Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semi-arid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management?

Antonio D. del Campo, Tardío J. G. Fernández, Antonio J. Molina

IMPROVE TREE-CLIMATE SENSITIVITY



Simultaneous assessment, through sap flow and stable isotopes, of water use efficiency (WUE) in thinned pines shows improvement in growth, tree-climate sensitivity and WUE, but not in WUE

Tardío J.G. Fernández<sup>1,2</sup>, Antonio D. Del Campo<sup>1,2</sup>, Rafael Herrera<sup>1,2</sup>, Antonio J. Molina<sup>1,2</sup>

IMPROVE STAND SUSCEPTIBILITY TO WILFIRE RISK



Development of a Keetch and Byram-based drought index sensitive to forest management in Mediterranean conditions

A. García-Forbes<sup>1,2</sup>, Del Campo Antonio<sup>1,2</sup>, Tardío Fernández J.G.<sup>1,2</sup>, Antonio Molina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Edafología y Recursos Agrícolas y Forestales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>2</sup>Centro de Investigación Biomédica en Redes Integrales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>3</sup>Centro de Investigación Biomédica en Redes Integrales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

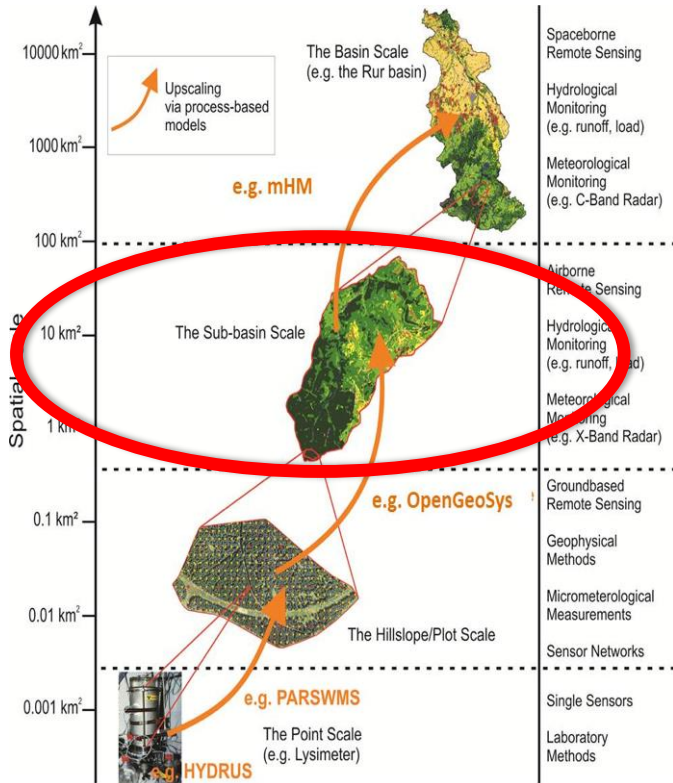
Result: KBDI reduction up to 25% in the high risk period



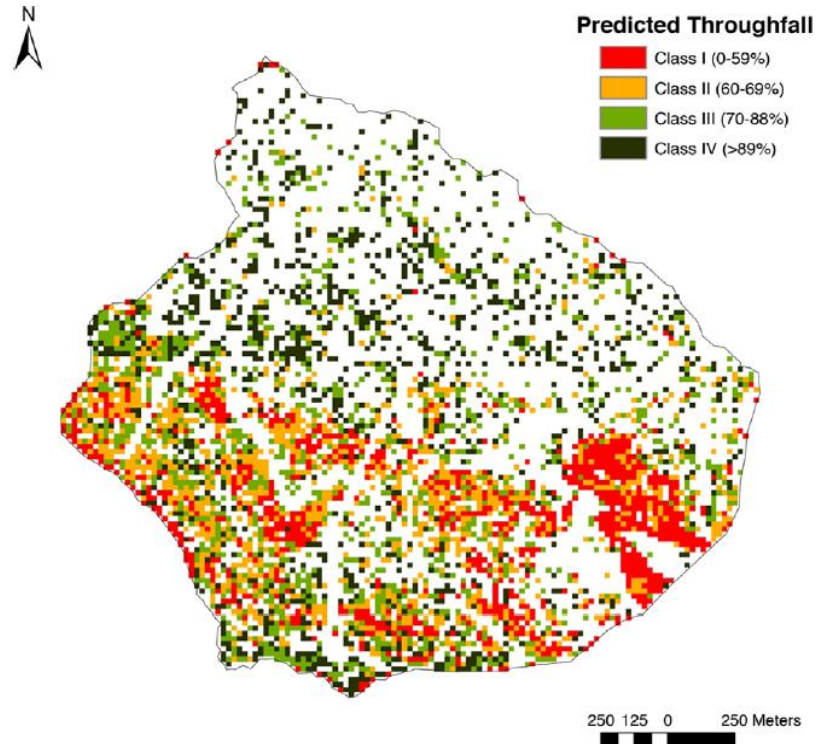
# CABECERA / MONTE (ESCALADO BIOFÍSICO)

- Better integration, more meaningful results

Nested catchment approach employed in TERENO  
Source: JÜLICH, <http://www.tereno-med.net/>



Scale element	Representative size
Plant	1-100 m <sup>2</sup>
Plot/Hillslope	100-10000 m <sup>2</sup>
Sub-catchment	0.1-50 km <sup>2</sup>
Basin (large catchment)	>1000 km <sup>2</sup>

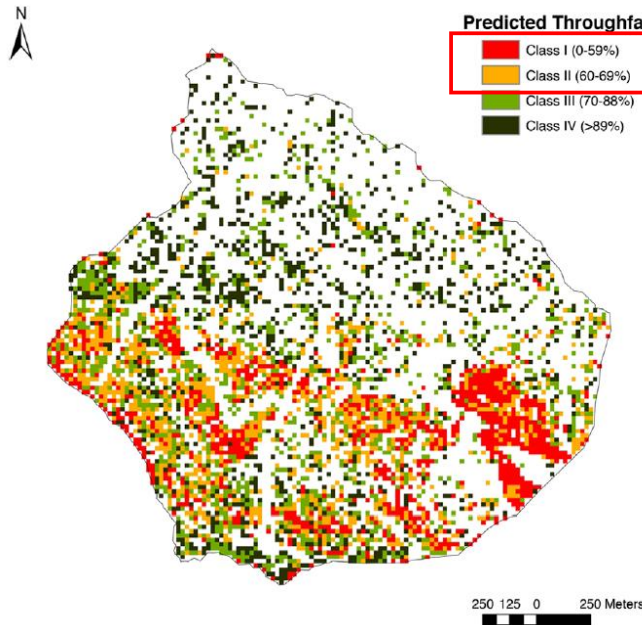


# SOSTENIBILIDAD ECOLOGICA, PERO.... ES SOCIO-ECONOMICAMENTE SOSTENIBLE...?

The cost and revenues for our study case **CONVENTIONAL BALANCE:**

**Revenue  
s from  
thinning**

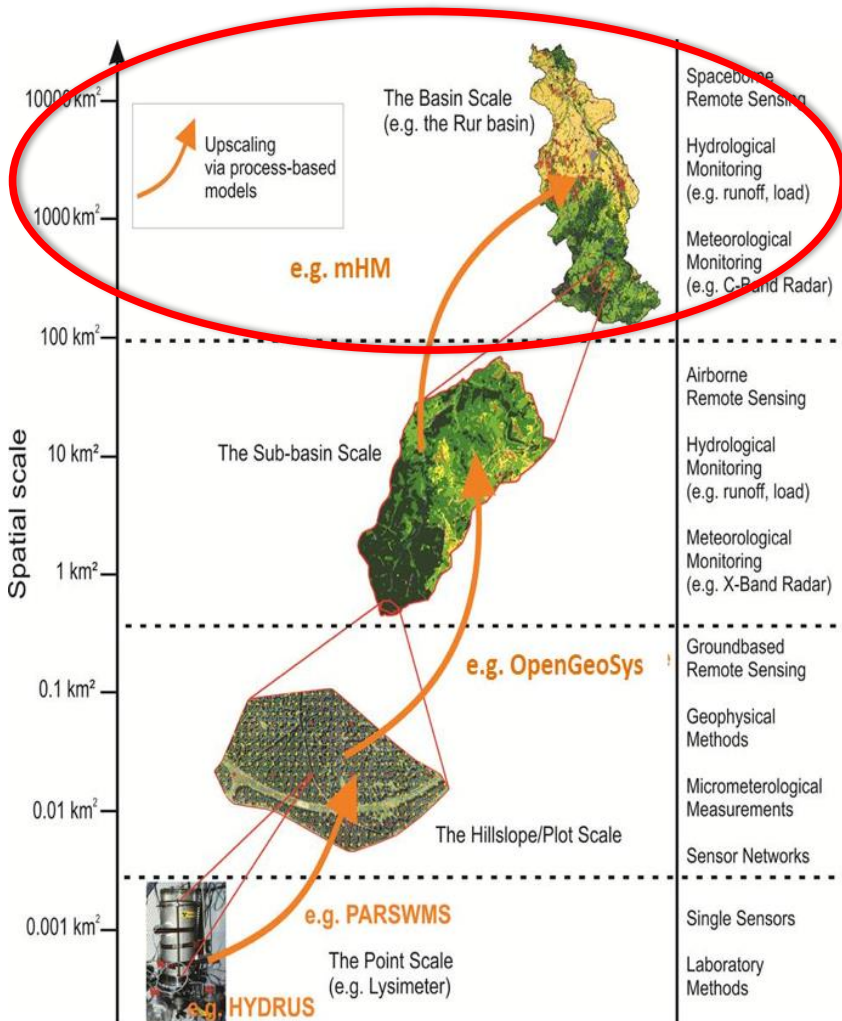
Cost of  
thinning



Class	Throughfall (%)	Silvicultural intervention		
I	< 59%	Highly necessary		
II	60-69%	Recommended		
III	70-88%	If other objectives converge		
IV	>89%	No intervention		
Area I+II, ha	Thinning cost, ha	Thinning total cost, €	Wood sold for chips, €	Balance, €
44.2	1833	81,026	26,565	<b>-54,461</b>

Water was the driving variable to design management...  
How water could be accounted for in the economic balance?

# CUENCA (SISTEMA SOCIO-ECOLOGICO)



- Realista , Sostenible...

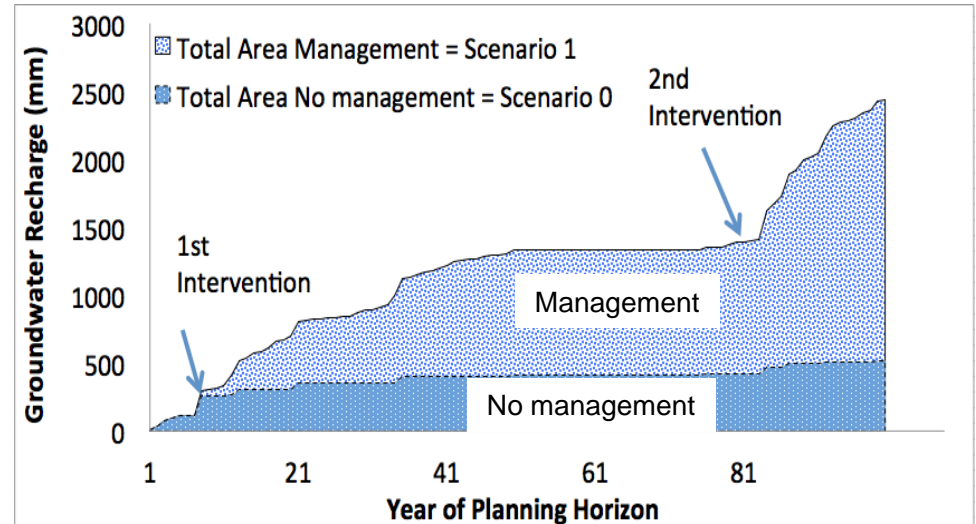
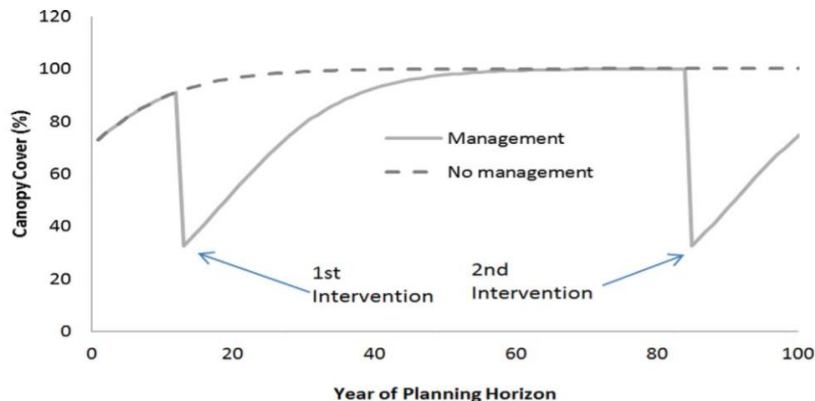
Scale element	Representative size
Plant	1-100 m <sup>2</sup>
Plot/Hillslope	100-10000 m <sup>2</sup>
Sub-catchment	0.1-50 km <sup>2</sup>
Basin (large catchment)	>1000 km <sup>2</sup>

# UN EJ. : DSS PARA INTEGRAR Y OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL AGUA Y DEL BOSQUE

Sustainable Forestry Cycle



New Forest Thinning Stand Management Protection Harvest Planning New Forest



**Dónde y CUANDO intervenir??**

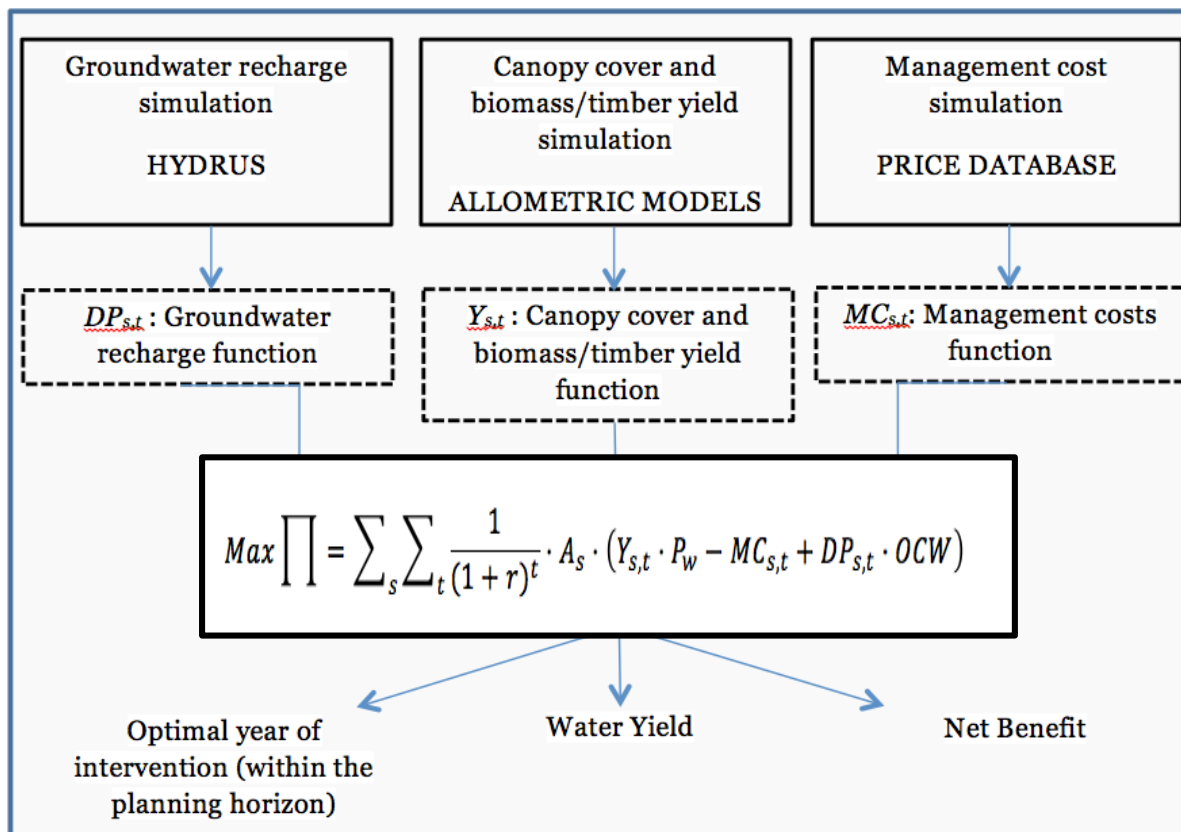
For. Manage. → ↑ **groundwater recharge** → value of **additional water** in the system → + value of **biomass harvested**

**DSS** → design a PES scheme where groundwater beneficiaries could contribute toward funding and promoting efficient forest management operations



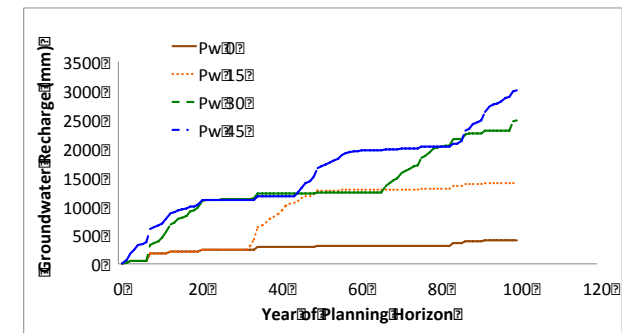
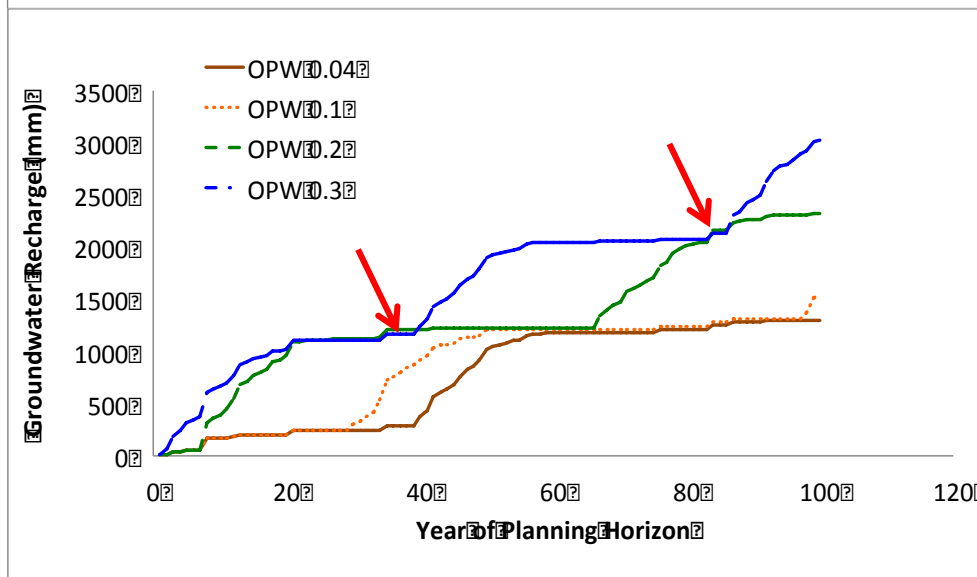
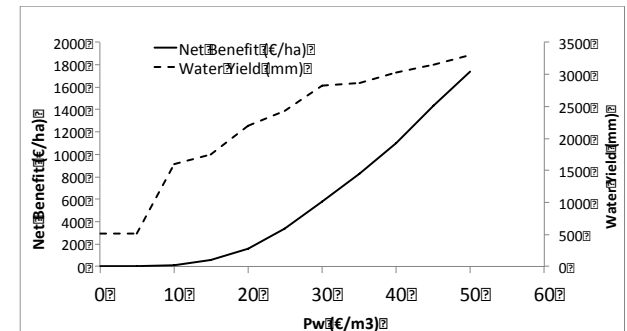
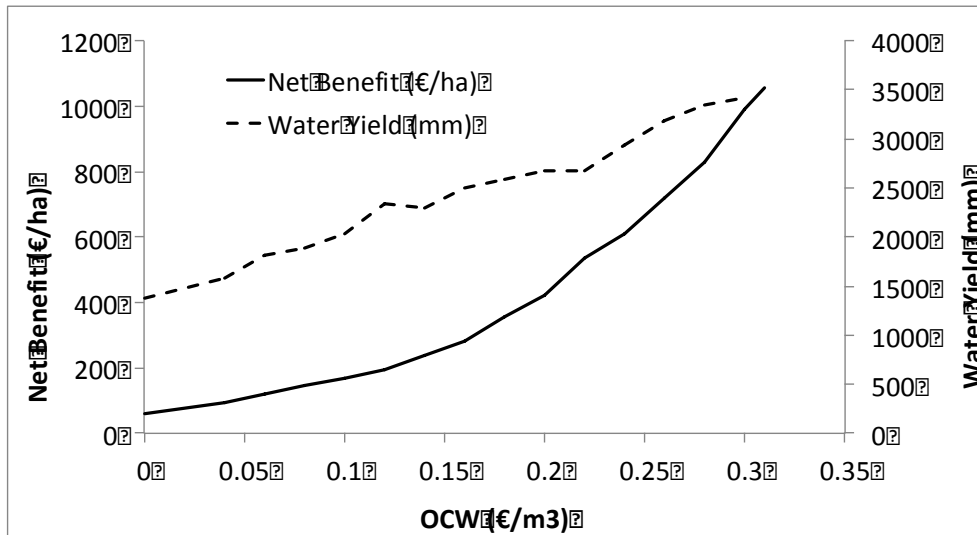
# Ej. MODELACIÓN HIDRO-ECONÓMICA PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN INTEGRAL DE BOSQUE Y AGUA (G<sup>3</sup>-Prats et al. 2016)

“ $\Pi$ ” is the objective function to be maximized:



- $\Pi$  is the **present value of the net benefit** from a management unit area ( $A_s$  ha)

- Management Scenario: Sensitivity analysis for OPW & Pw



**Table 3.** Sensitivity Analysis for the Marginal Value of Water (MVW)<sup>a</sup>

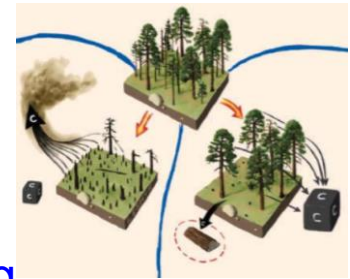
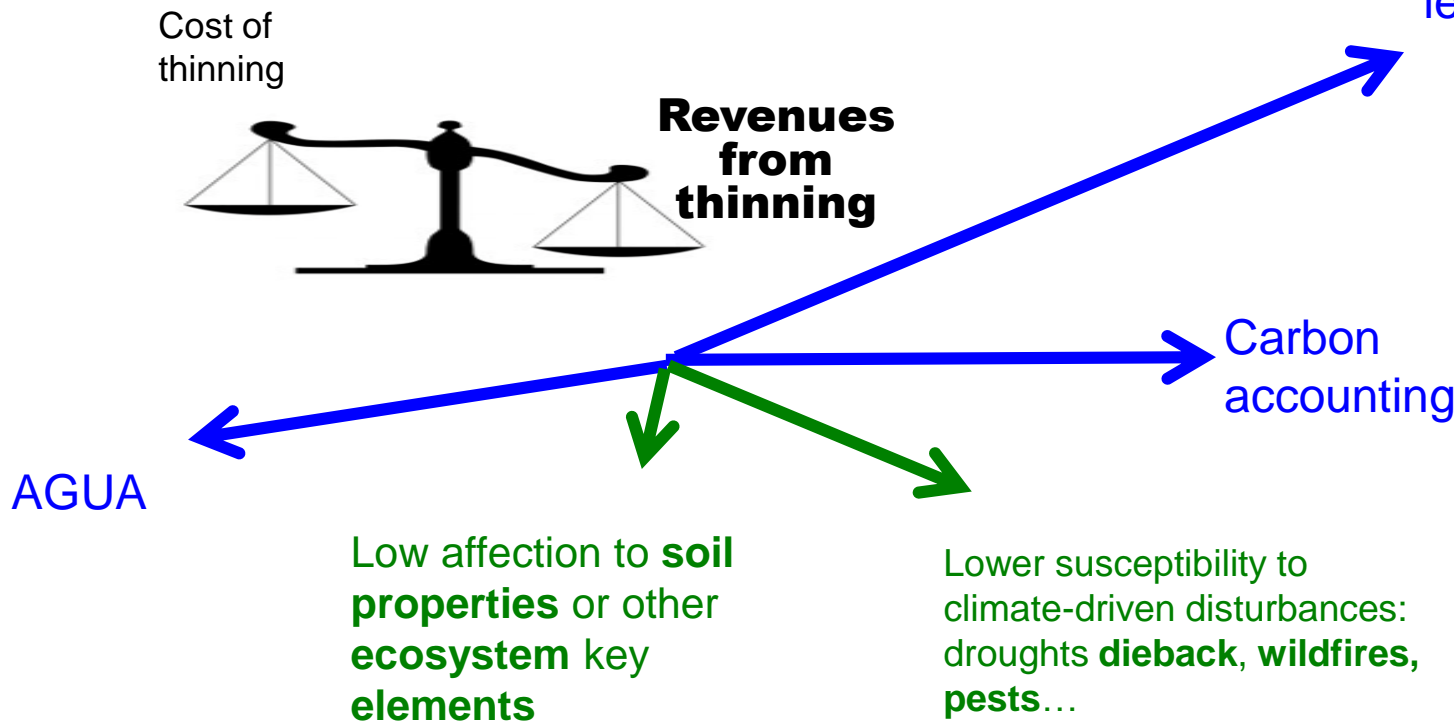
MVW (€·m <sup>-3</sup> )	Net Benefit (€·ha <sup>-1</sup> )	Total Groundwater Recharge (mm)	Extra Groundwater Recharge <sup>b</sup> (mm)	Number of Interventions <sup>c</sup>	Increment of Number Of Years ( <i>DP</i> > 0 mm) (%) <sup>c</sup>
0.00	59.88	1336.96	823.44	1	26–16
0.04	95.12	1376.64	863.12	1	26–16
0.06	121.17	1579.58	1066.06	1–2	26–16
0.08	145.77	1819.51	1305.99	2	28–16
0.1	169.68	1889.56	1376.04	2	34–16
0.12	196.26	2039.91	1526.39	2	34–18
0.14	240.36	2340.61	1827.09	2	34–27
0.16	282.25	2289.89	1776.37	2	37–27
0.18	354.86	2496.19	1982.67	2	39–32
0.20	423.50	2587.22	2073.70	2–3	48–32
0.22	534.81	2680.45	2166.93	2–3	47–32
0.24	610.51	2675.80	2162.28	2–3	47–32
0.26	721.09	2938.22	2424.70	2–3	51–32
0.28	827.19	3184.85	2671.33	3	51–43
0.30	991.70	3346.79	2833.27	3–4	57–43
0.31	1064.03	3416.98	2903.46	4	57–43

<sup>a</sup>Cumulated results for the entire planning horizon.

<sup>b</sup>After subtracting groundwater recharge in no-management situation (Scenario 0).

<sup>c</sup>Variable according to the Stand.

# QUIÉN PAGA...?

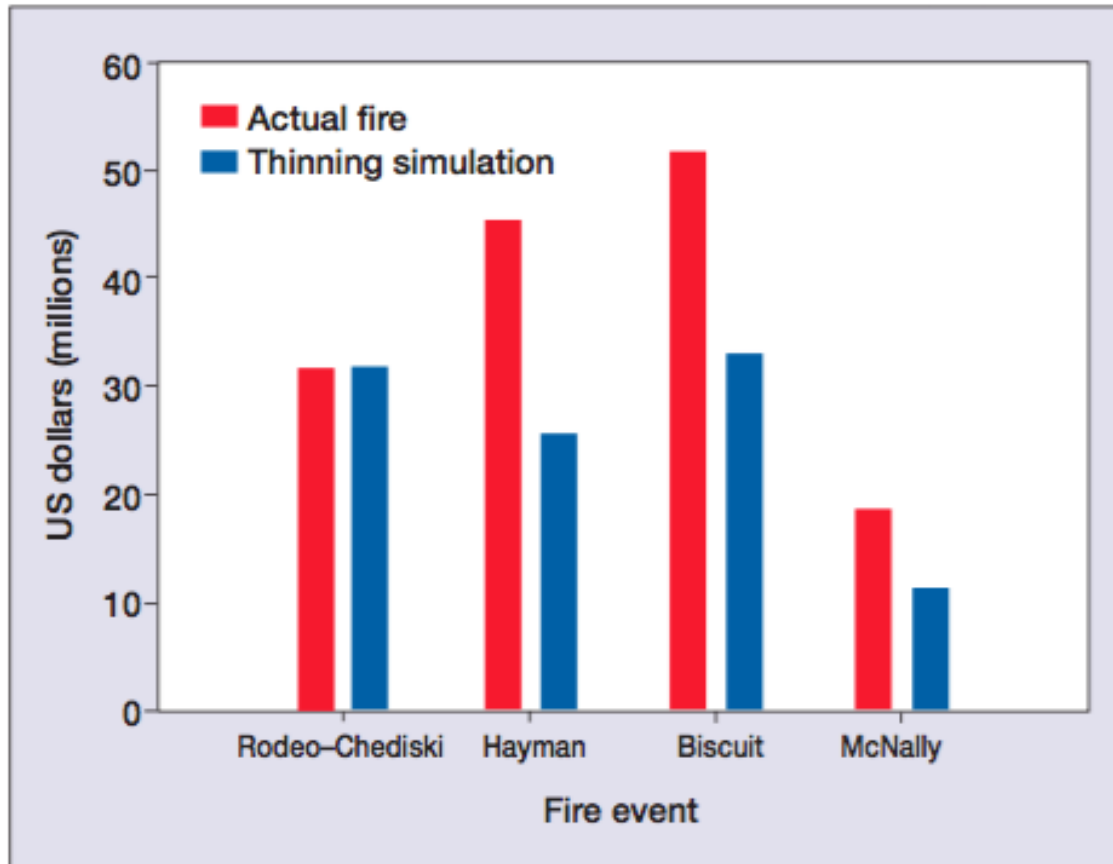


Example: Hurteau et al., 2008 (Front Ecol Environ, 6(9),493-498, doi:10.1890/070187):

*“Carbon accounting should recognize the value of management actions that reduce the risk of carbon loss through stand-replacing fire”*



# EJEMPLO: HURTEAU ET AL., 2008 (FRONT ECOL ENVIRON, 6(9),493-498, DOI:10.1890/070187)



*“Carbon accounting should recognize the value of management actions that reduce the risk of carbon loss through stand-replacing fire”*

**Figure 3.** Total estimated cost of each fire event plus the cost of offsetting the CO<sub>2</sub> release (red) and total cost of thinning the same land area minus the market value of the offsets gained from protecting the carbon stock (blue).

- González-Sanchis, M., Ruiz-Pérez, G., Del Campo, A.D., Garcia-Prats, A., Francés, F., Lull, C., 2019. Managing low productive forests at catchment scale: considering water, biomass and fire risk to achieve economic feasibility. *Journal of Environmental Management* 231: 653–665. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.078
- del Campo, A.D., González-Sanchis, M., Garcia-Prats, A., Ceacero, C.J., Lull, C. 2019. The impact of adaptive forest management on water fluxes and growth dynamics in a water-limited low-biomass oak coppice. *Agric. For. Meteorol.* 264: 266–282.
- del Campo, A.D., González-Sanchis, M., Lidón, A., Ceacero, C., García-Prats, A., 2018. Rainfall partitioning after thinning in two low-biomass semiarid forests: impact of meteorological variables and forest structure on the effectiveness of water-oriented treatments. *Journal of Hydrology*, 565: 74-86. DOI: j.jhydrol.2018.08.013
- Vicente, E.; Vilagrosa, A.; Ruiz-Yanetti, S.; Manrique-Alba, À.; González-Sanchis, M.; Moutahir, H.; Chirino, E.; del Campo, A.; Bellot, J. 2018. Water Balance of Mediterranean *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. Forests in Semiarid Climates: A Review in A Climate Change Context. *Forests*, 9, 426. DOI: 10.3390/f9070426
- García-Prats, A., Gonzalez-Sanchis, M., del Campo, A.D., and Lull, C. 2018. Hydrology-oriented forest management trade-offs. A modeling framework coupling field data, simulation results and Bayesian Networks. *Science of the Total Environ.* 639: 725–741
- del Campo, A., Wei, X., Wang, Y., Gonzalez-Sanchis, M., García-Prats, A. and Bautista, I. 2018. Managing Forests for Water and Enhanced Climate Resilience. *Confluence: Journal of Watershed Science and Management*, 2(1):7-8 doi: 10.22230/jwsm.2018v2n1a1.
- Di Prima, S., Bagarello, V., Angulo-Jaramillo, R., Bautista, I., Cerdà, A., del Campo, A., González-Sanchis, M., Iovino, M., Lassabatere, L., Maetzke, F. 2017. Impacts of adaptive management of a Mediterranean oak forest on soil properties influencing water infiltration. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. *J Hydrology & Hydromechanics* 65, 276–286.
- A. Garcia-Prats, A. del Campo, M. Pulido, 2016. A hydro-economic modelling framework for optimal integrated management of forest and water. *Water Resour. Res.*, 52, 8277–8294,
- G. Ruiz-Pérez, María González-Sanchis; Antonio D del Campo; Félix Francés. 2016. Can a simple model implemented with satellite data be used for modelling the vegetation dynamics and water cycle in water-controlled environments? *Ecological Modelling*, 324: 45–53. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.01.002
- Fernandes, T.J.G., A. del Campo, R. Herrera, A. Molina, 2016. Simultaneous assessment, through sap flow and stable isotopes, of water use efficiency (WUE) in thinned pines shows improvement in growth, tree-climate sensitivity and WUE, but not in WUEi. *Forest Ecology and Management*. 361,1:298–308. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.11.029
- A. Manrique, M. A.D. del Campo, M. González-Sanchis. 2015. Light Detection and Ranging for implementing water-oriented forest management in a semiarid sub-catchment (Valencia, Spain). *CLEAN - Soil, Air, Water*, 43: 1488–1494. doi: 10.1002/clen.201400871
- T.J.G. Fernandes, A. del Campo, R. Bartual, M. González-Sanchis. 2015. Use of Artificial Neural Network to estimate daily transpiration of *Pinus halepensis* Mill. stands thinned at different intensities. *iForest*, vol. 9, pp. 38-48. - doi: 10.3832/ifor1290-008.
- M. González-Sanchis, A. del Campo, A. Molina, T.J.G. Fernandes. 2015. Use of BIOME-BGC to simulate the adaptive forest management of a Mediterranean Aleppo pine plantation, a hydrological approach. *Ecological Modelling*, 308: 34–44. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.04.002
- A. Garcia-Prats, A. del Campo, T.J.G. Fernandes, A. Molina. 2015. Development of a Keetch and Byram-based drought index sensitive to forest management in Mediterranean conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 205, 40-50.
- AD del Campo, TJG Fernandes, AJ Molina, 2014. Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management?. *European Journal of Forest Research*, 133(5): 879-894. DOI 10.1007/s10342-014-0805-7
- A. Molina; A.D. Del Campo, 2012. The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.12.037. *Forest ecology and Management* 269: 206-213
- A. Molina, A.D. Del Campo, 2011. Leaf area index estimation in a pine plantation with LAI-2000 under direct sunlight conditions: relationship with inventory and hydrologic variables. *Forests Systems*, 20(1): 108-121.

**El agua une y articula todo en el bosque: pensemos en clave de agua**

*be water my friend...*  
*Bruce Lee*



*Knowing is not enough, we must apply. Willing is not enough, we must do*

**MUCHAS GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN !!**

