



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# Hidrología y Repoblaciones

**Antonio D del Campo**

Responsable grupo de trabajo Hidrología Forestal SECF

Profesor Titular Universidad - UPV - [ancamga@upv.es](mailto:ancamga@upv.es)

**Día**  
**INTERNACIONAL**  
**de los BOSQUES**  
**2 y 3**  
**de OCTUBRE de 2021**  
**CARAVACA DE LA CRUZ (MURCIA)**



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Región de Murcia

JUNTOS POR LOS  
**BOSQUES**



AYUNTAMIENTO DE  
CARAVACA DE LA CRUZ

# Hidrología y repoblaciones



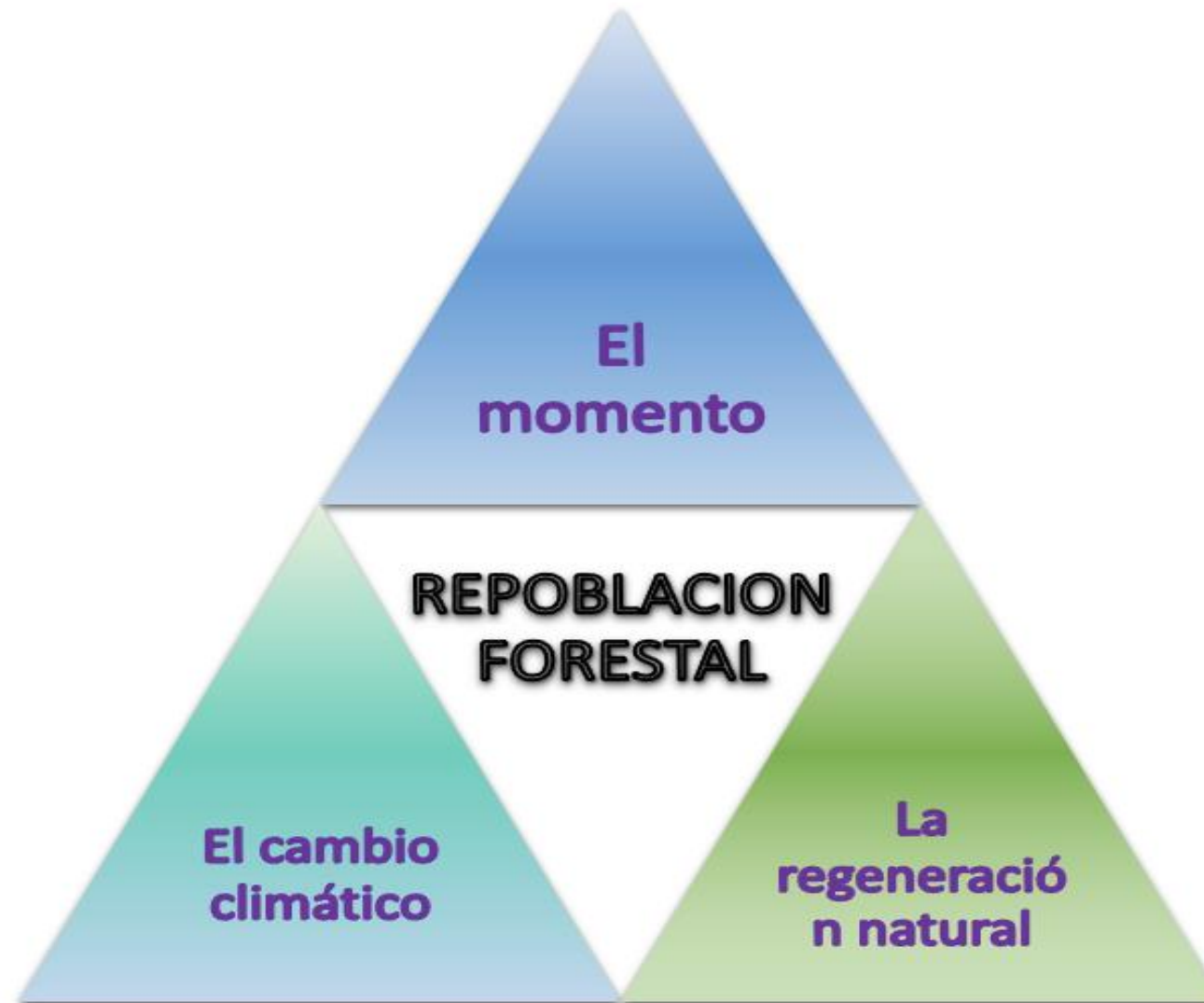
## Contenidos

1. Las repoblaciones forestales en una triple encrucijada\*
2. Aspectos hidrológicos en RF
3. Revisión de dogmas
4. Revisión de objetivos
5. Revisión de técnicas

\* Situación difícil en que no se sabe qué conducta seguir.



# REPOBLACIONES FORESTALES: TRIPLE ENCRUCIJADA





# El momento: Consenso Internacional



- La Decada de restauración de ecosistemas (ONU 2021-2030)

<https://www.decadeonrestoration.org>

- Framework for Ecosystem Restoration Monitoring (FERM) : <http://www.fao.org/national-forest-monitoring/ferm/en/>
- Compromiso internacional de restaurar hasta 1000 Mha, (aprox China, [UN 2021](#))
- The Drylands Restoration Initiatives Platform (DRIP): <http://www.fao.org/in-action/dryland-restoration-initiative-platform/en/>
- UE: Estrategia forestal europea , Nature-based Solutions
  - [https://ec.europa.eu/environment/pdf/forests/swd\\_3bn\\_trees.pdf](https://ec.europa.eu/environment/pdf/forests/swd_3bn_trees.pdf)

# El momento: Plan de R., T. y R.

<https://www.lamoncloa.gob.es/temas/fondos-recuperacion/Documents/16062021-Componente4.pdf>

- C4R2; C4.I3
- Inversión: 551.500.000 €.
- Líneas C4.I3:
  1. **Restauración de ecosistemas**
    - ...**ecológica, hidrológica**, mejora del **C orgánico** en suelos y acciones contra la **desertificación**... hábitats vulnerables, terrenos degradados, creación de **corredores** de alta montaña, **ecosistemas litorales** y marinos, **restauración hidrológico forestal** y recuperación de terrenos agrarios.
    - ... impulso a actuaciones de **conectividad** a gran escala, aprovechando vías pecuarias o proyectos interautonómicos.
  2. Recuperación zonas afectadas por la **minería**
  3. Infraestructura verde: fomento de la conectividad y **reverdecimiento urbano**
- Calendario de implementación: 2021-2026
- Aprox 40 Kha/año ( x 4 la media anual actual)

Enumeración de las reformas e inversiones	
C4.R1	Conservación de la biodiversidad terrestre y marina
C4.R2	Restauración de ecosistemas e infraestructura verde.
C4.R3	Gestión Forestal Sostenible
C4.I3	Restauración de ecosistemas e infraestructura verde.
C4.I4	Gestión Forestal Sostenible
Inversiones totales	



**Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia**

**COMPONENTE 4**

**Conservación y restauración de ecosistemas marinos y terrestres y su biodiversidad**

C4.I3	Restauración de ecosistemas e infraestructura verde.	<b>551.500.000</b>	33,59%	05.4 Protección de la biodiversidad y del paisaje
C4.I4	Gestión Forestal Sostenible	<b>401.100.000</b>	24,43%	05.4 Protección de la biodiversidad y del paisaje
Inversiones totales		<b>1.642.000.000</b>	<b>100,0 %</b>	



# Las estadísticas: EXPANSIÓN Y CRECIMIENTO BOSQUES

- Superficie forestal. Comparación IFN2, IFN3, IFN4, 2018 (MAPA, 2020)

**COMPARACIÓN DE EXISTENCIAS ENTRE INVENTARIOS**  
volumen maderable: millones de m3 c.c.

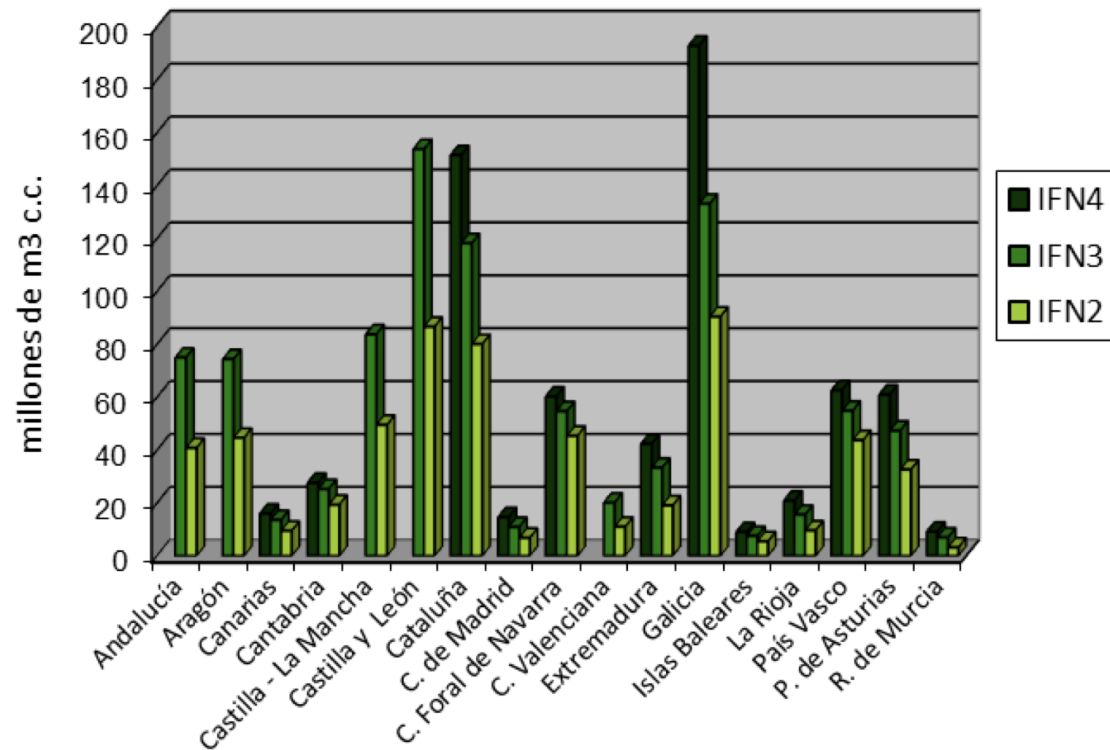


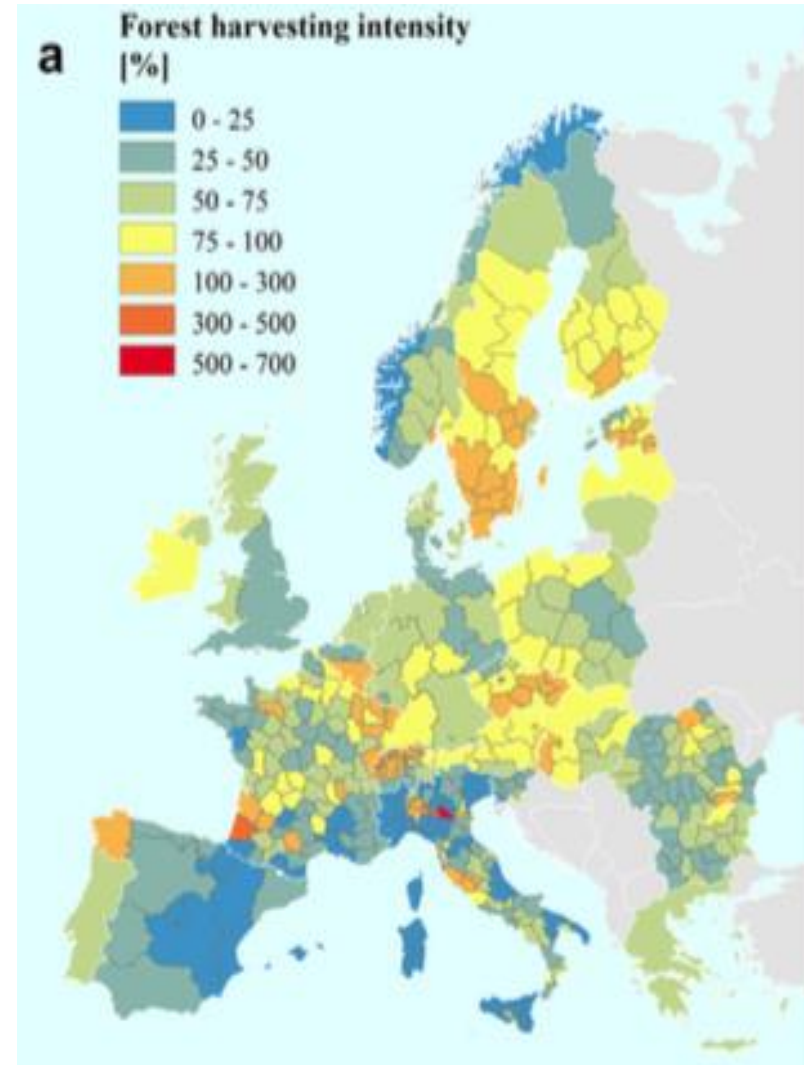
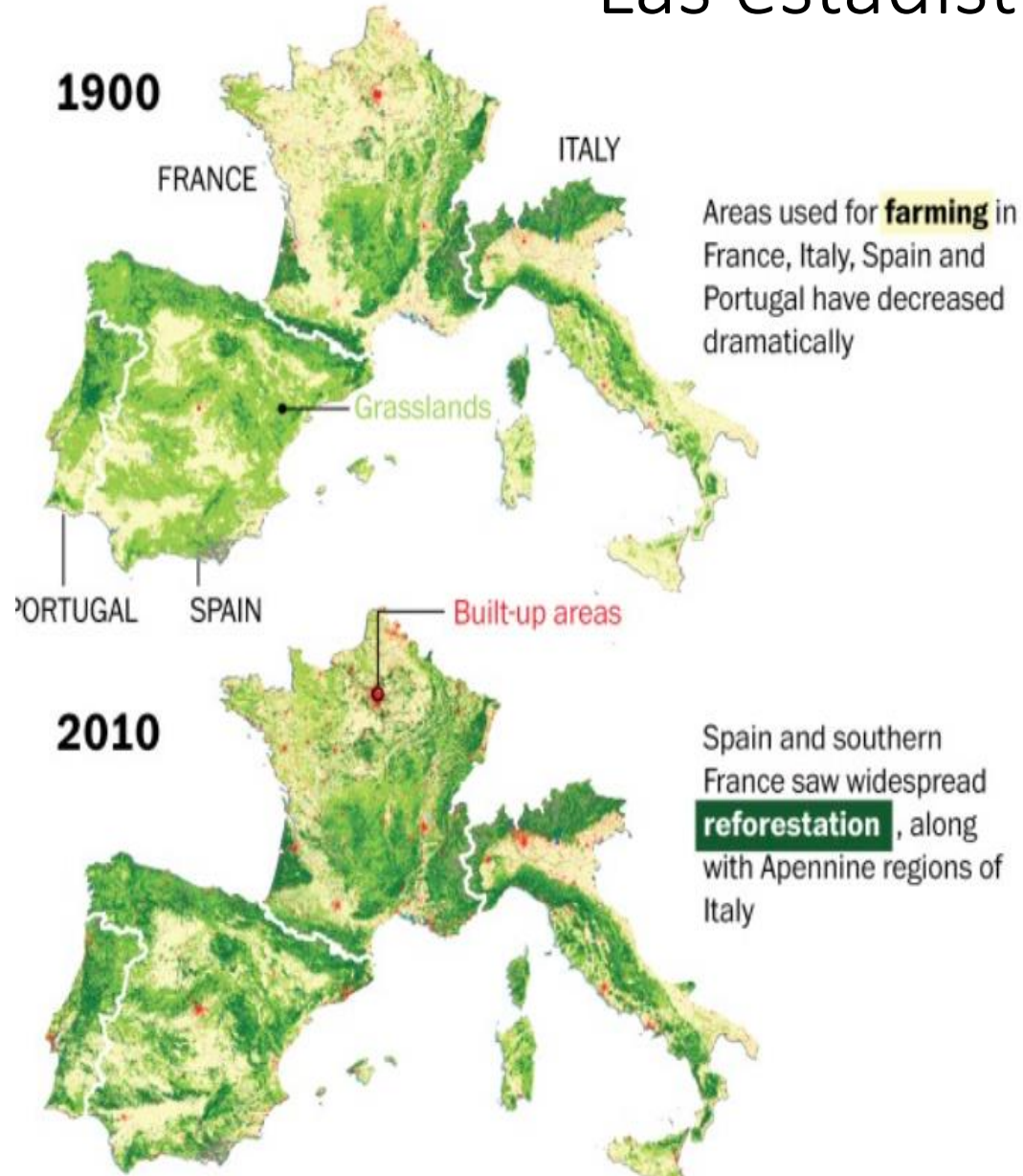
Gráfico 2.5: Comparación de existencias en volumen maderable con corteza.

R. de Murcia	Vol maderable (m3 cc)	N pies mayores
1987	3.1 Mm3	43 M
1999	6.9 Mm3	84 M
2010	9.1 Mm3	91 M

R. de Murcia	Superficie forestal arbolada FCC > 5%		Superficie forestal Desarb. FCC < 5%
	Arbolado ralo + disperso FCC 5-20%	TOTAL	
2010	32.860 + 11.486	318.878	197.318
2014	34.429	308.223	203.074

In France, Spain and Italy, reforestation was particularly visible

# Las estadísticas: EXPANSIÓN Y POCA GESTION



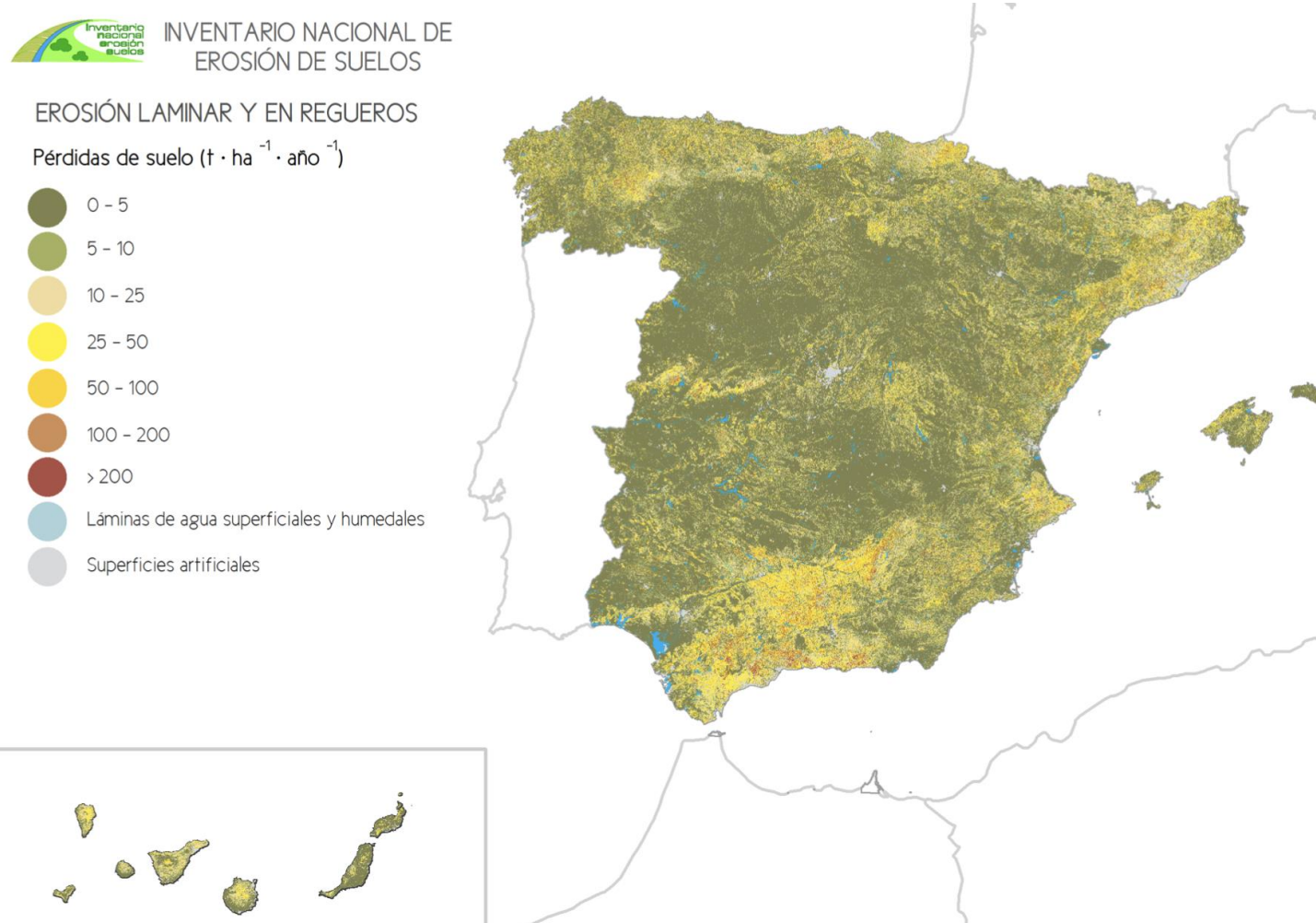
Volumen madera cortada con respecto al incremento anual para 2000–2010

(Levers et al., 2014, FORECO 315:160–172)



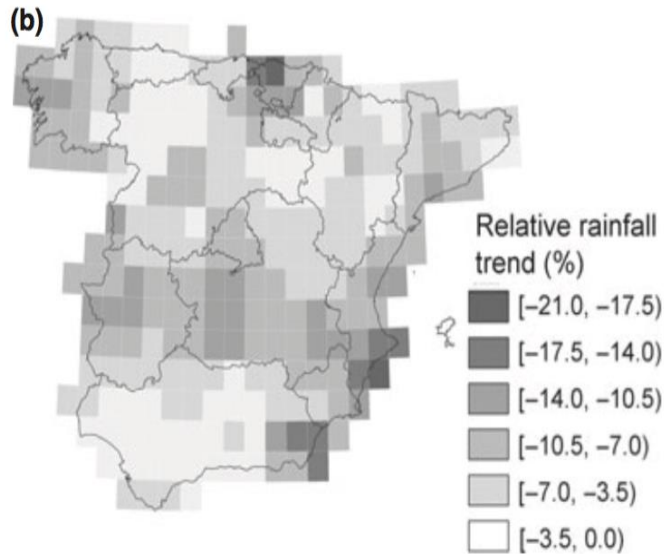
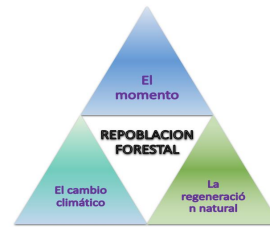
# Las estadísticas: EXPANSIÓN Y CRECIMIENTO BOSQUES

- Erosión (MAPA, 2021)





# El Cambio Global/Climático



(Vayreda et al., 2012)

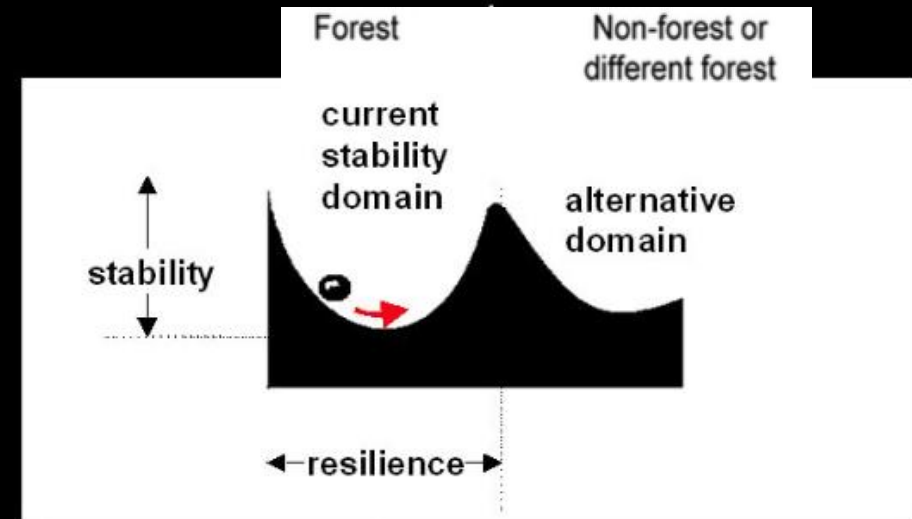
- Los dominios de estabilidad:
  - Dominio
  - Estado
  - Estabilidad
  - Resiliencia
  - No bosque o bosque ≠

## Ball-and-cup model of system stability

Ball=Current state of system

Cup = Current stability domain

*Stability*, the speed at which the ball returns to homeostasis; correlated with productivity

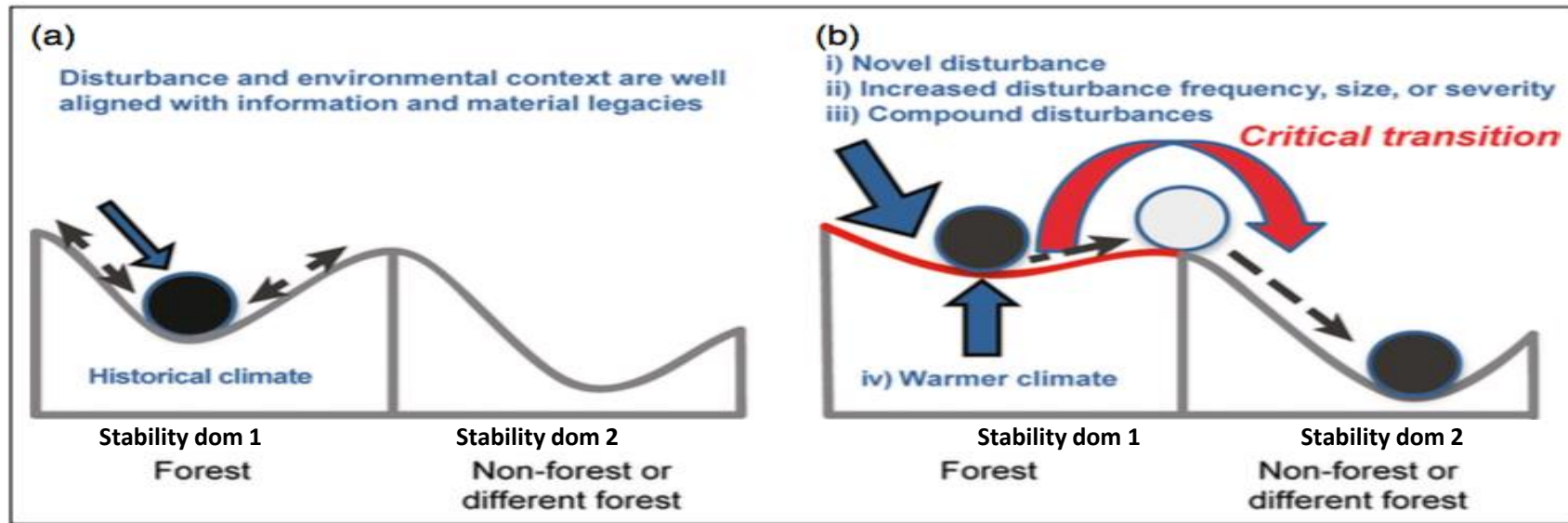


*Resilience*, the amount of energy that the system can absorb without leaving the cup for an alternative stability domain.



# El Cambio Global/Climático

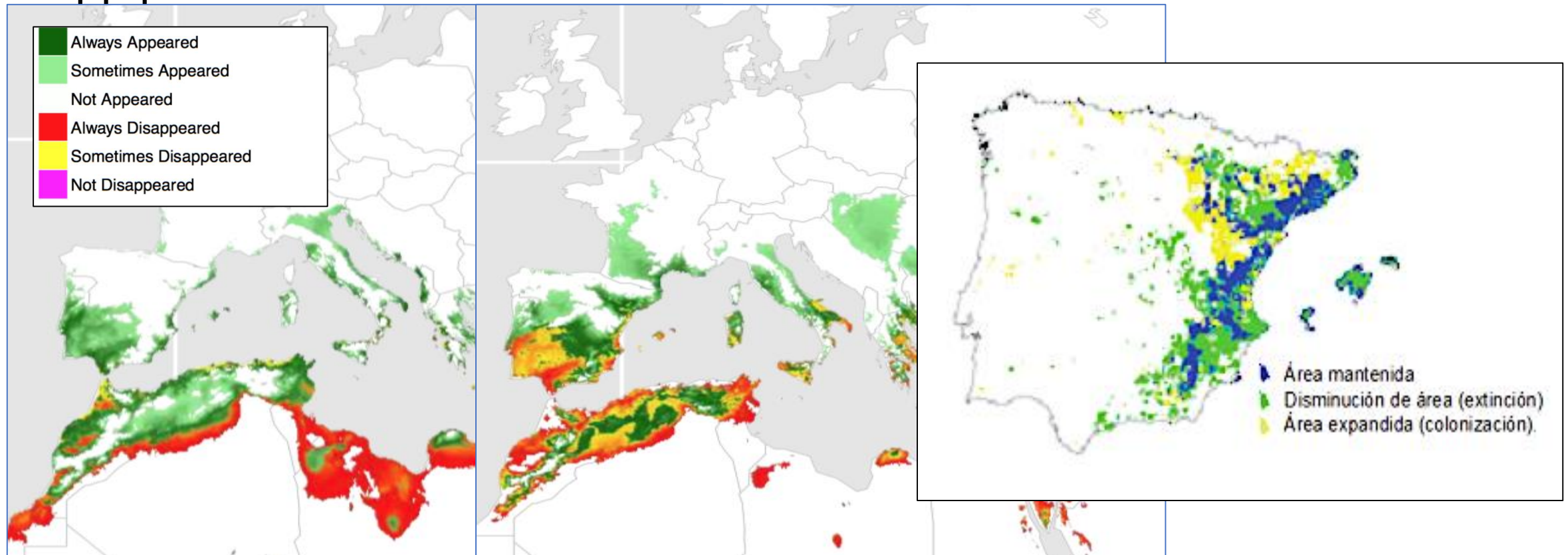
- Cambio en los regímenes de perturbaciones: sequías

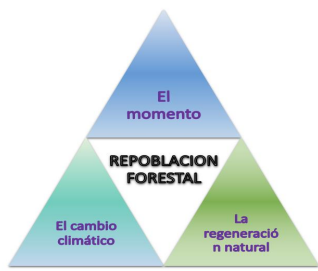


**Figure 2.** Conceptual representation of forest ecosystems (black ball) within a theoretical landscape of alternative ecosystem states (valleys separated by peaks). (a) Forests are resilient to disturbances lying within the safe operating space, indicated by disturbances that may move the system but not cause it to shift to another state. (b) Forests are likely to shift to a different state in response to four hypothesized mechanisms (i–iv) that move a system outside its safe operating space and trigger a shift to a different forest or non-forest state.

# El Cambio Global/Climático

- Cambios zonas biogeográficas para mitad de s XXI → Cambios distribución hábitats de spp → Debate de migración asistida de spp/poblaciones



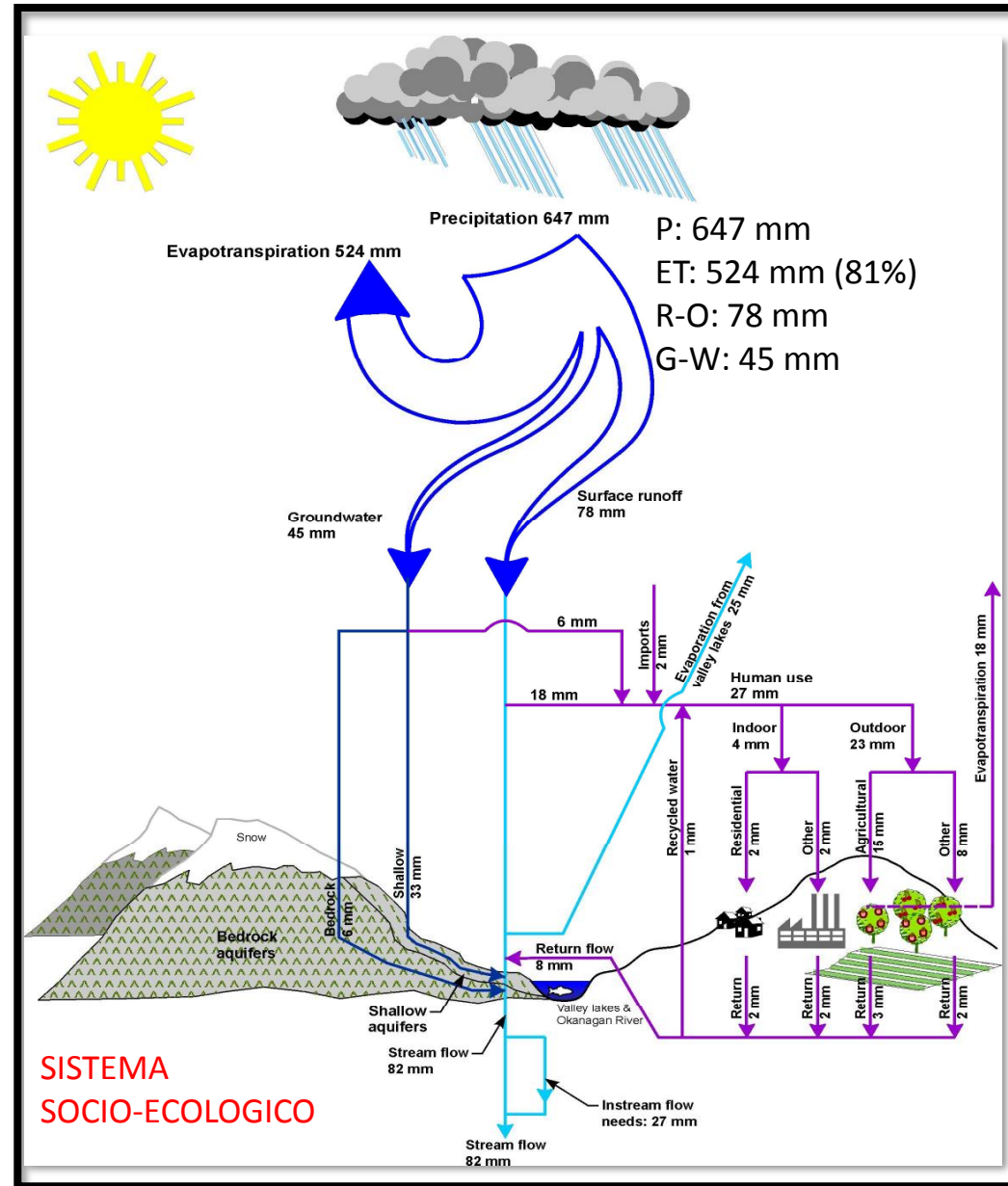
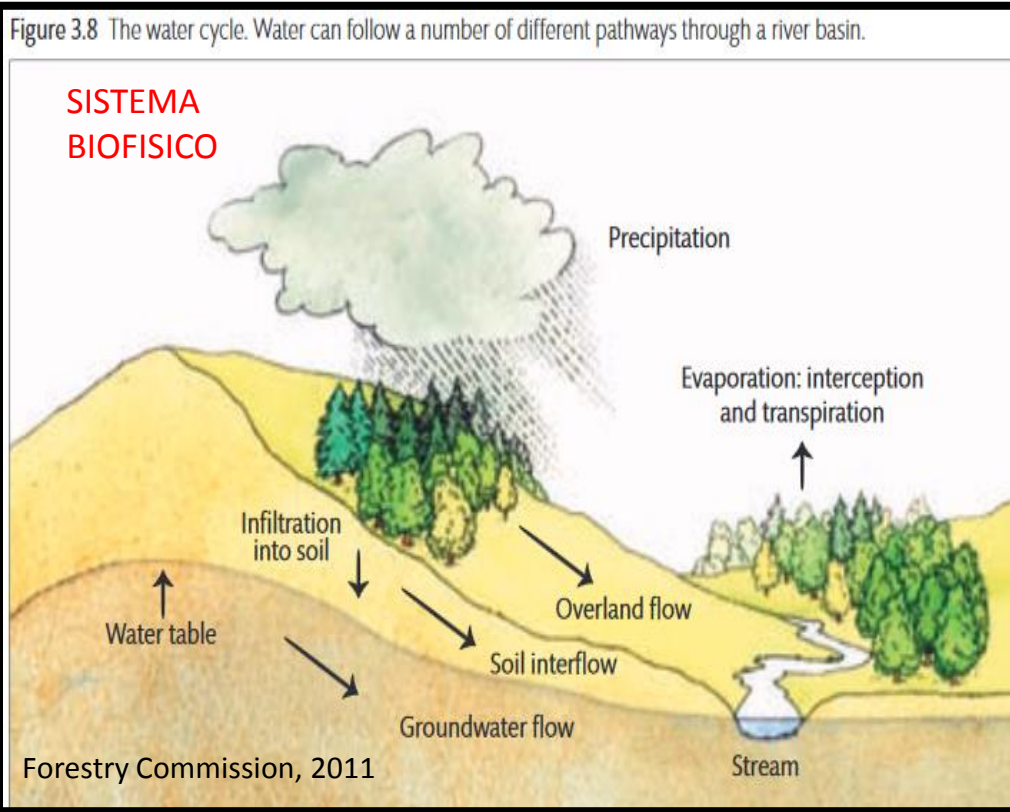


# Aspectos hidrológicos en Repoblaciones For.

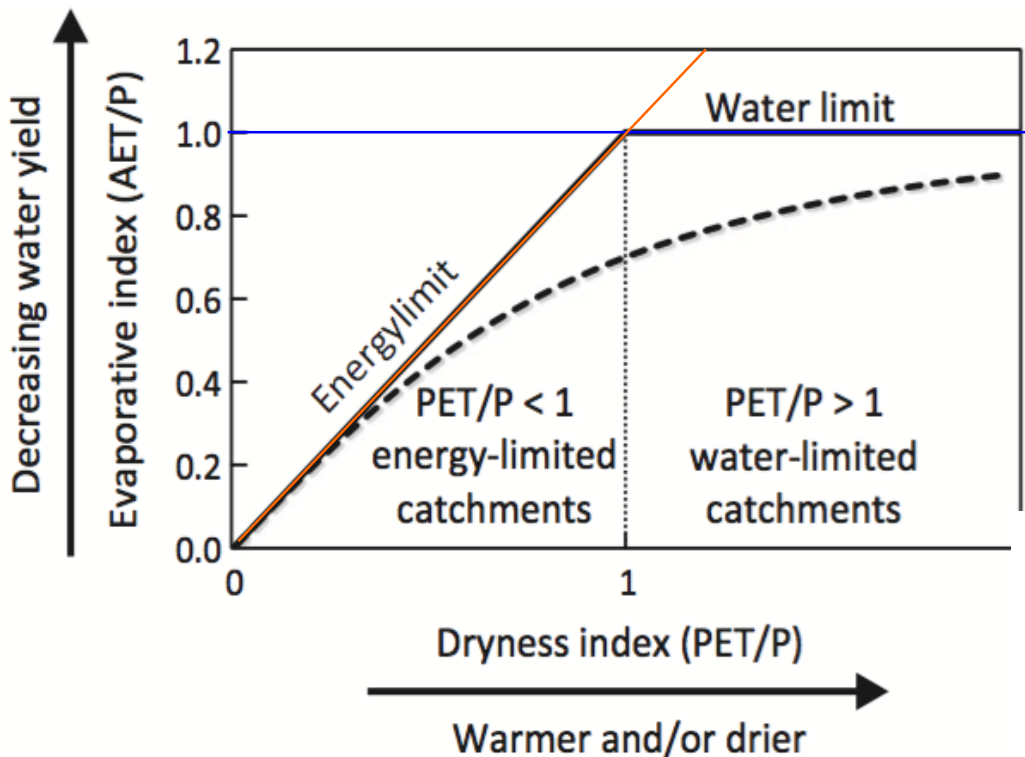


# Aspectos hidrológicos en Repoblaciones For.

## RELACIONES Bosque-agua



# Aspectos hidrológicos Bosques-agua en drylands



Límite de energía:  $AET = PET$

Límite hídrico  $AET = P$

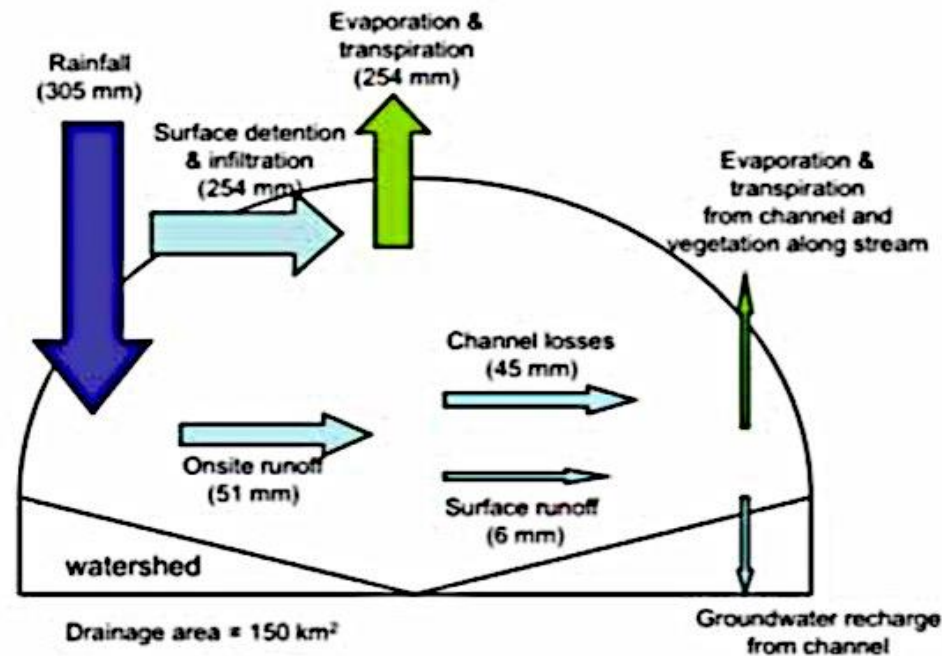
- Una cuenca no puede superar la línea azul a menos que haya una entrada adicional de agua más allá de P.

- En climas semiáridos,  
 → ↓↓ P + ↑↑ ET →  
 → Bosques tienen un > impacto relativo en la ET

→ **Agua Verde >>> Agua azul**

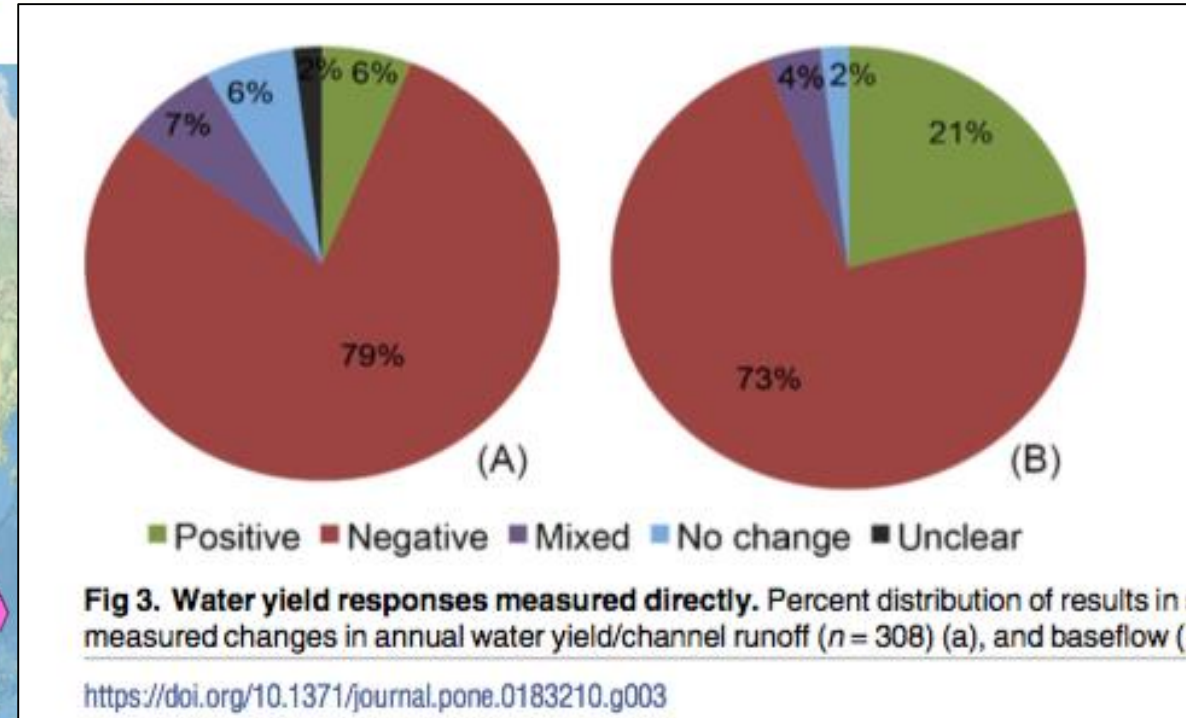
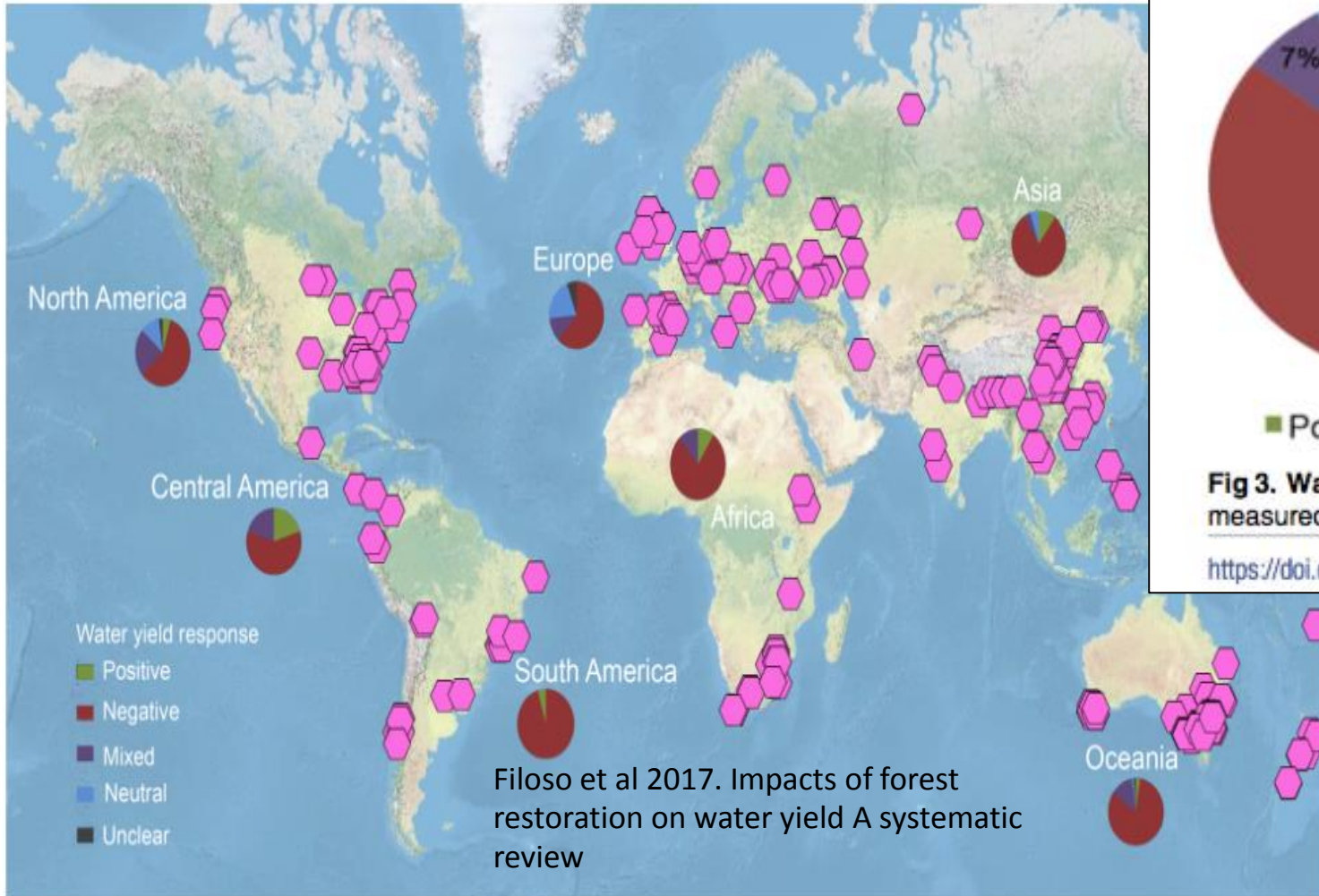
P:305 mm; ET: >90%; RO: < 5%; GW: resto

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

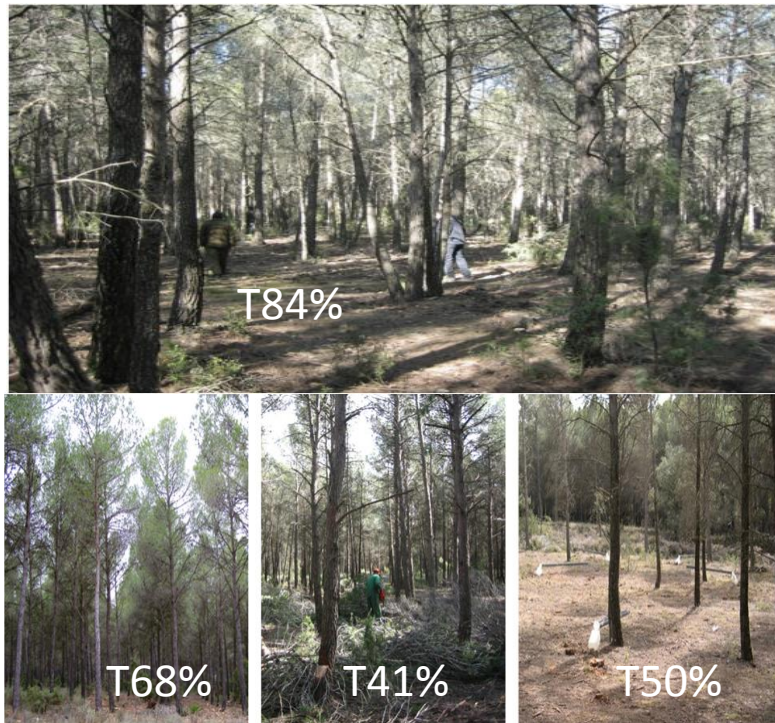


# Aspectos hidrológicos en Repoblaciones For.

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.html?id=c4ec722a1cd34cf0a23904aadf8923a0>).

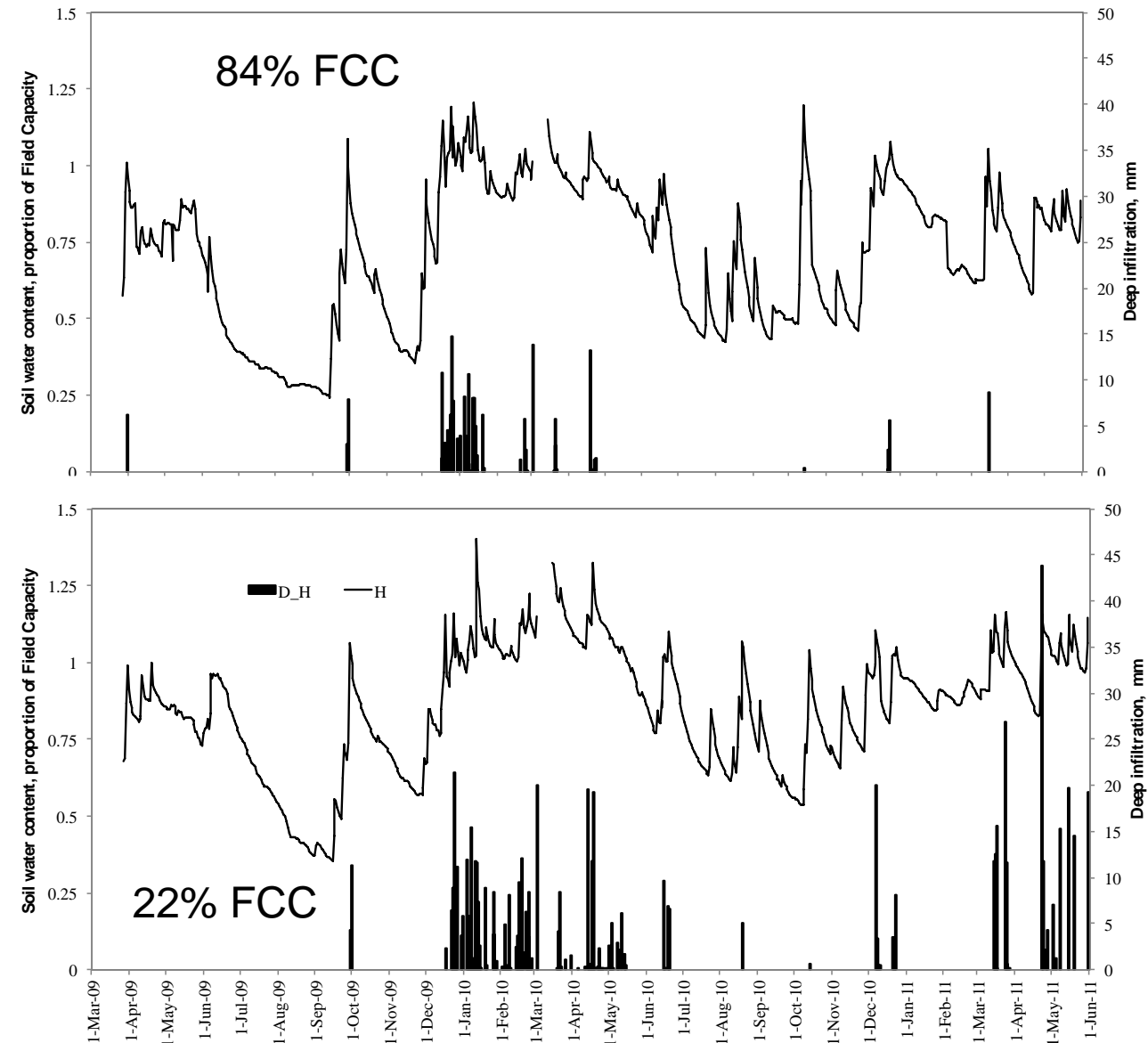


# Aspectos hidrológicos: Repoblaciones maduras La Hunde (V)



%	P	It	T	I>30cm	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

P: gross rainfall; It: interception loss; T: stand transpiration; I<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



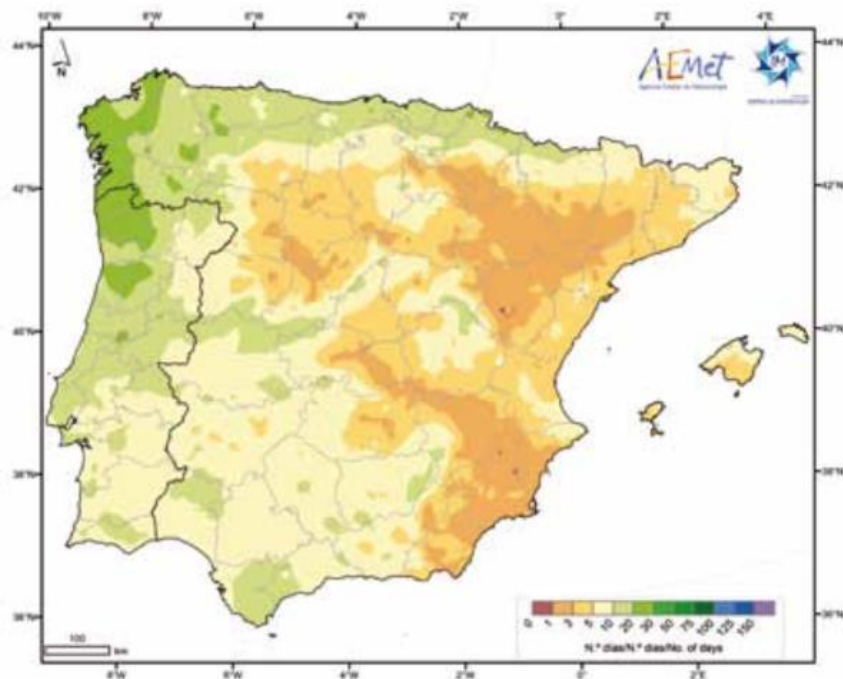


# Aspectos hidrológicos. Ej. Recarga de acuíferos

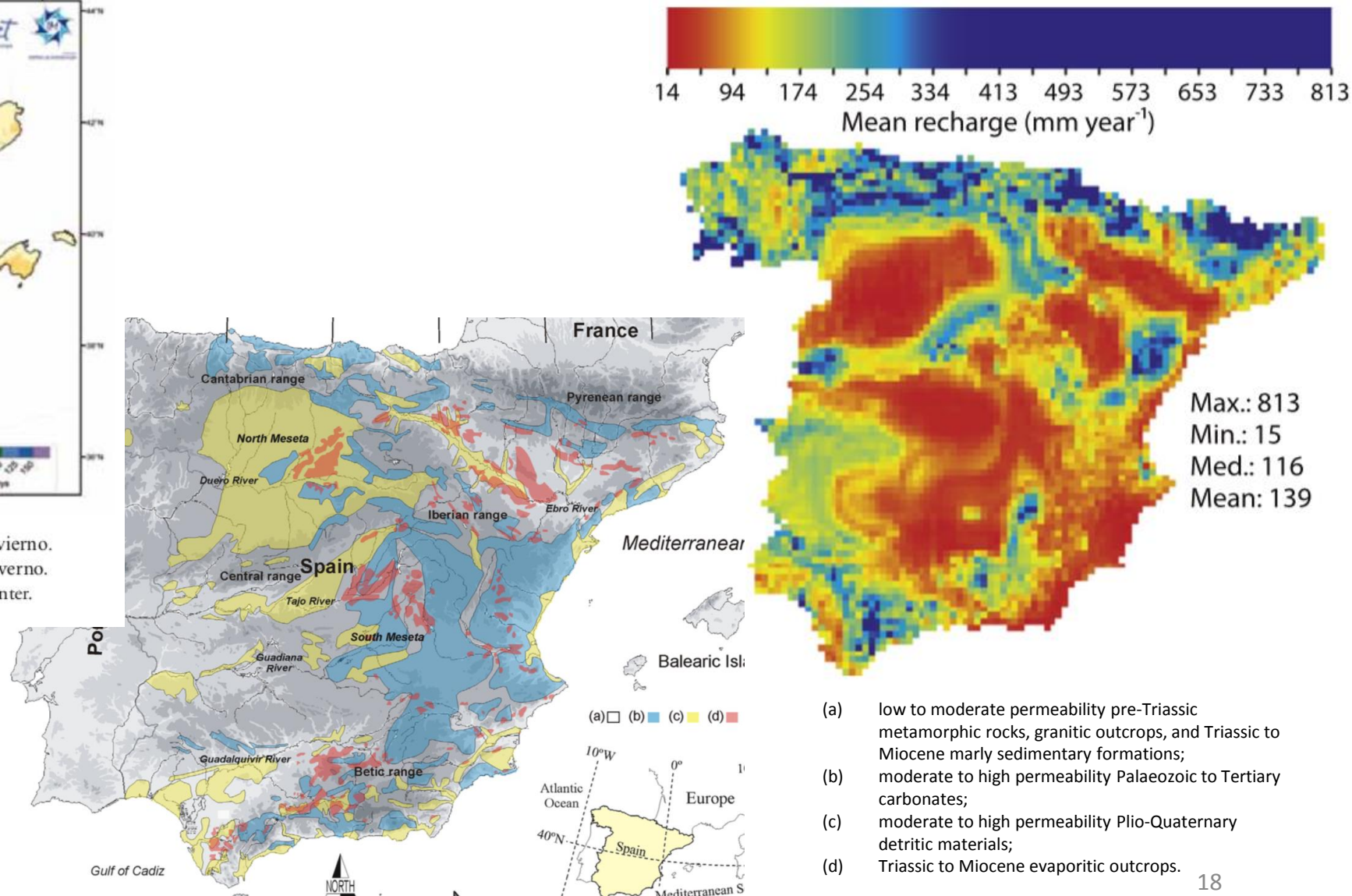


# Aspectos hidrológicos. Ej. Recarga de acuíferos

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



**Fig. 93.** Número medio de días con precipitación  $\geq 10$  mm en invierno.  
 Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm no Inverno.  
 Average number of days with precipitation  $\geq 10$  mm in winter.



# Revisión de dogmas



- Espesuras, especies/procedencias, superficie no forestal,...
- Momentum + CC + densificación bosques → revisar dogmas para:
  - Proteger el suelo
  - Mejorar el balance hídrico
  - Biodiversidad,
  - Secuestro de C en suelo,
  - Conectividad, etc.
  - Mejorar la resiliencia al clima y adaptación climática
  - Disminuir la susceptibilidad al riesgo de incendios forestales y otras perturbaciones con regímenes alterados

[Rey Benayas, et al., 2016. Guía para la plantación de setos e islotes forestales en campos agrícolas mediterráneos.](#)

# Revisión de dogmas

.....accepting the **trade-offs** that result.

Timothy Pearson, T., Walker, S., Brown, S. 2006. Guidebook for the Formulation of Afforestation and Reforestation Projects under the Clean Development Mechanism ITTO Technical Series 25

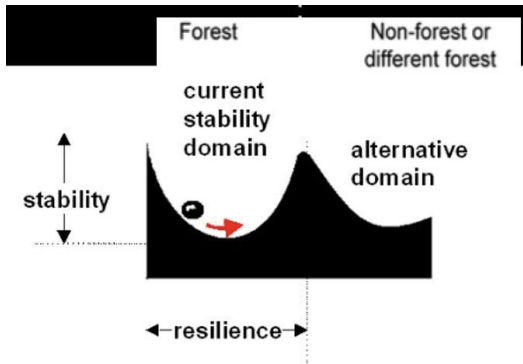


<b>RESTORING</b>	<p><b>Benefits for people such as:</b>                  Products for food and raw materials;                  Reducing risk of landslides;                  Providing recreational areas;                  Providing clean water.</p> <p><b>Environmental functions such as:</b>                  Hydrological cycles;                  Habitats;                  Nutrient cycling;                  Soil stabilisation;                  Carbon sequestration.</p>
<b>CONNECTING</b>	<p><b>Forest fragments</b> and creating links between protected areas and well-managed forests.</p>
<b>REDUCING</b>	<p><b>Vulnerability of forests and biodiversity</b> to threats such as: climate change, pests/ disease and fires.</p>
<b>PLANNING, IDENTIFYING AND ADDRESSING</b>	<p><b>Solutions that are acceptable to all; Root causes of forest loss and degradation</b> in order to reverse trends through:                  Consulting and involving local people;                  Changing policies related to land use;                  Replacing harmful incentives with more positive ones;                  Informing and training people;                  Building capacity;                  Recognising traditional values.</p>
<b>VALUING</b>	<p><b>Forest goods and services</b> in order to quantify and evaluate how stakeholders can directly benefit from these.</p>

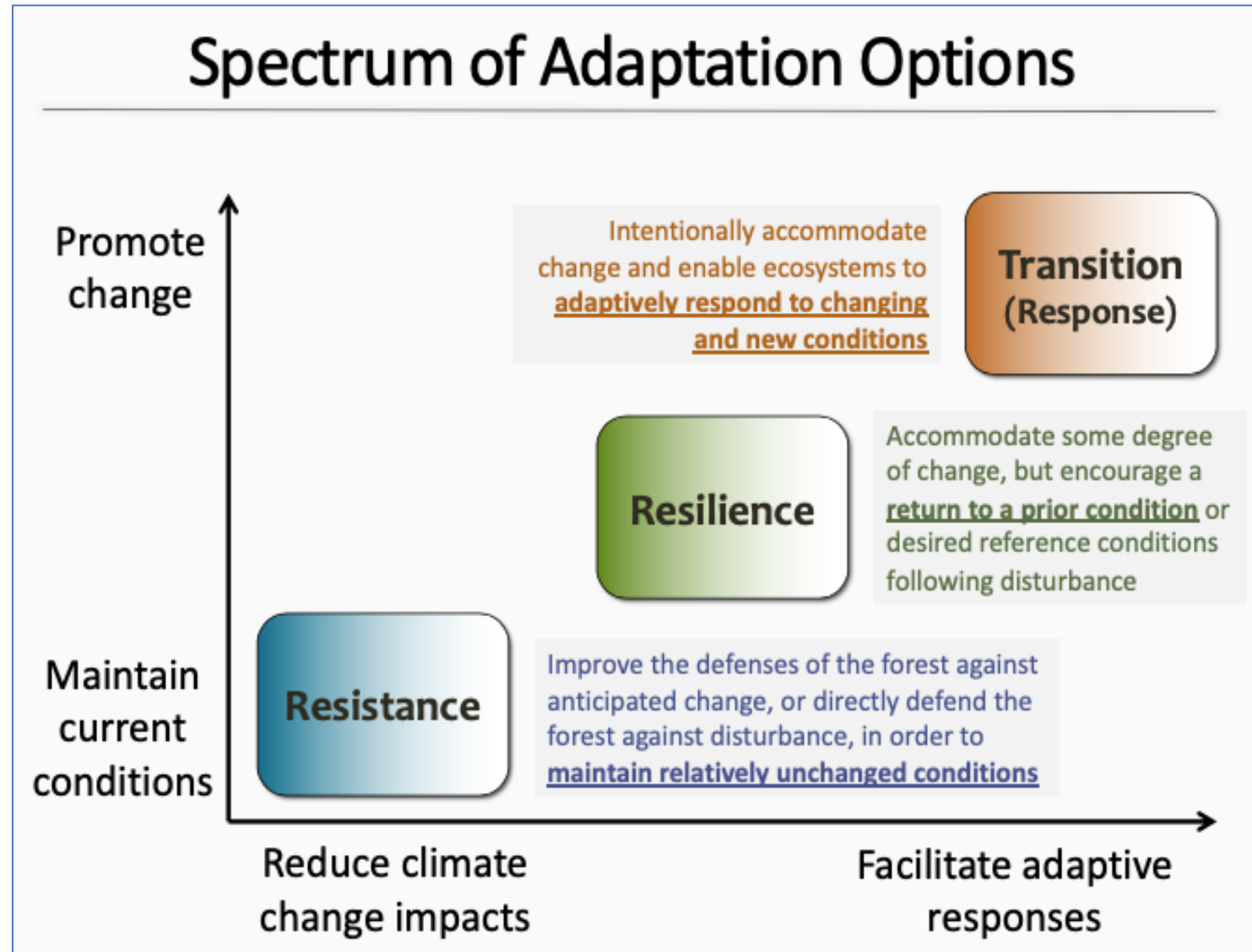
# Revisión y congruencia de objetivos

## Aspectos biofísicos 1º

Vulnerabilidad →  
margen de acción

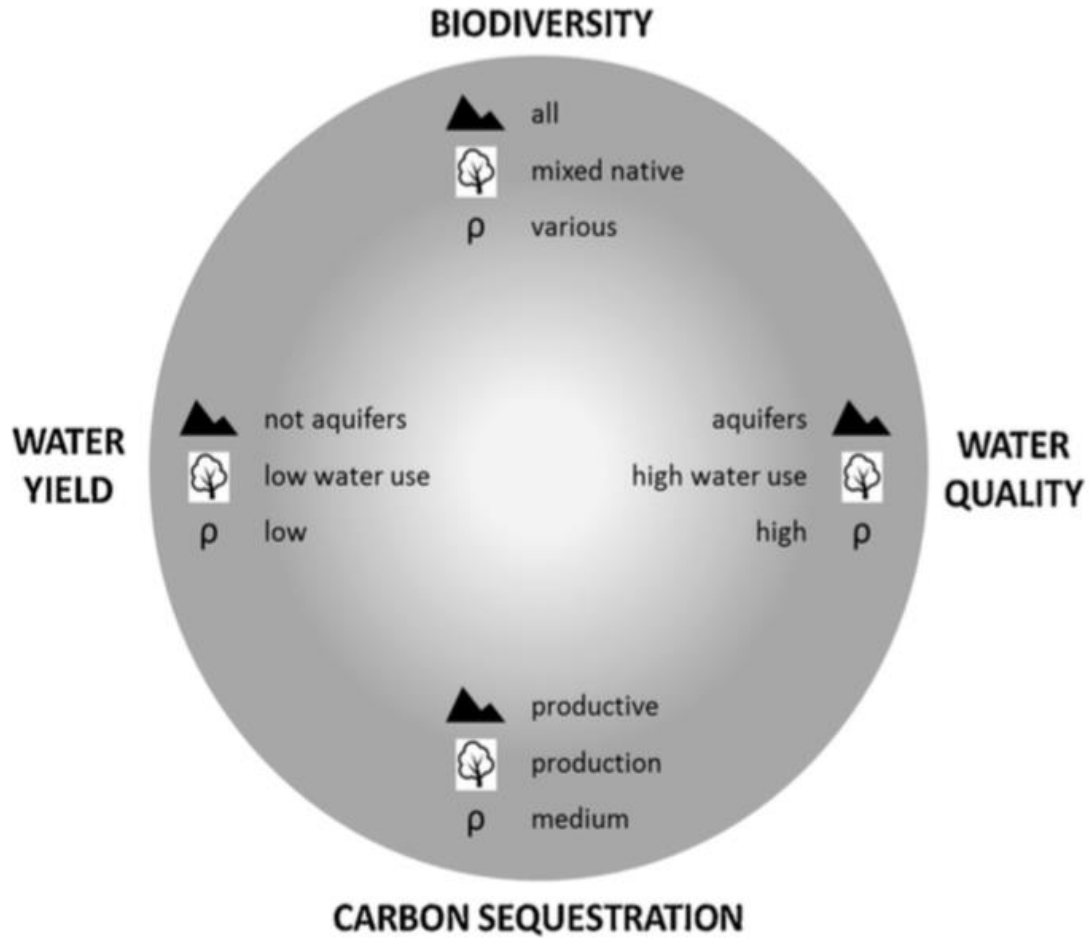


Nagel et al., 2017; Peterson & Nagel, 2018



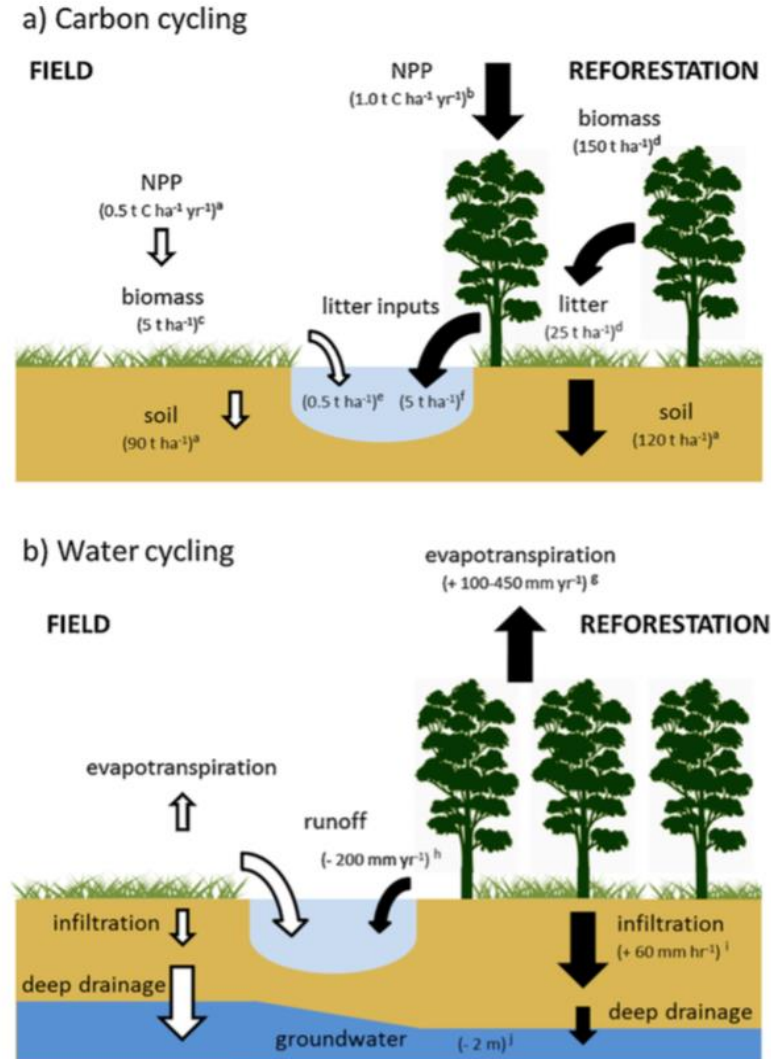
# Revisión y congruencia de objetivos

## Aspectos socio-ecológicos



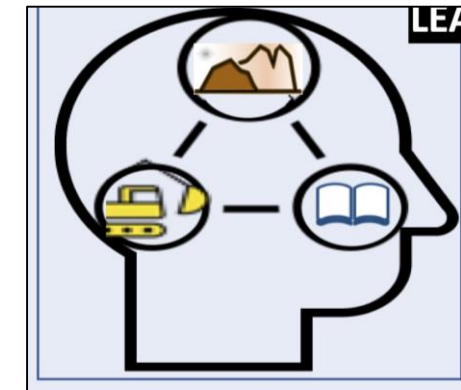
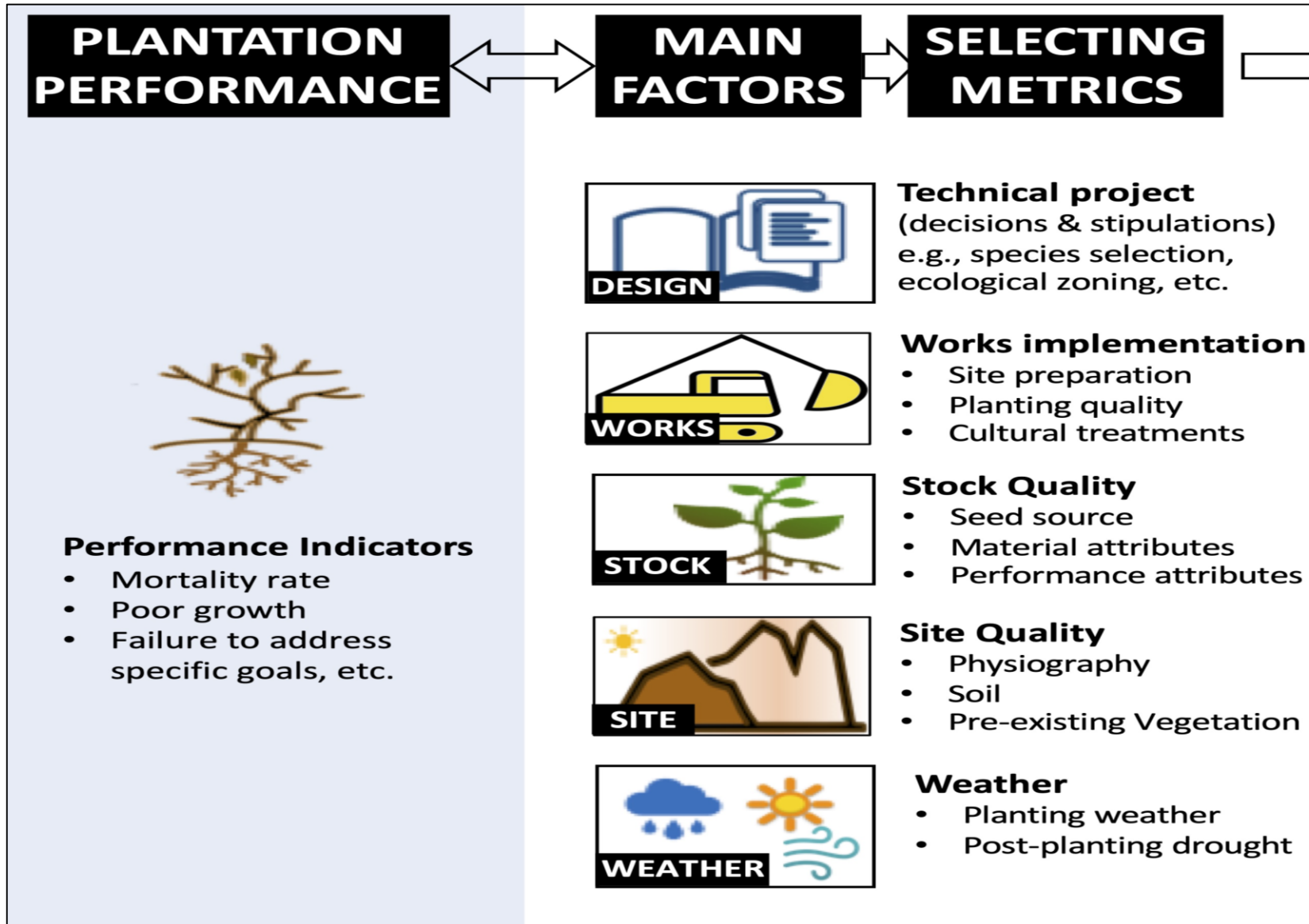
Cunningham et al., 2015

S.C. Cunningham et al. / Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 17 (2015) 301–317

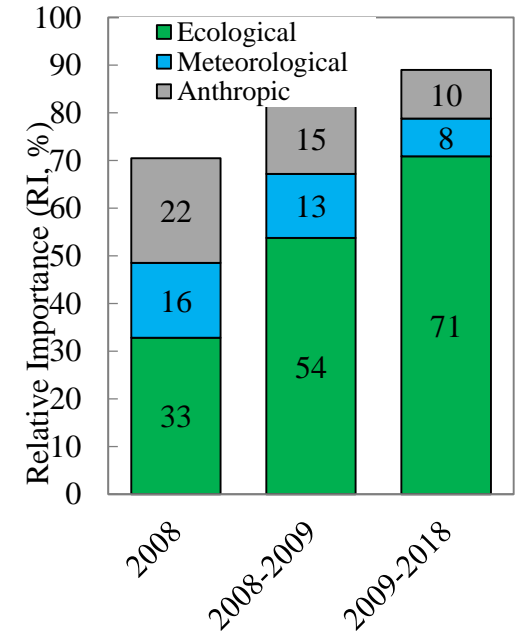
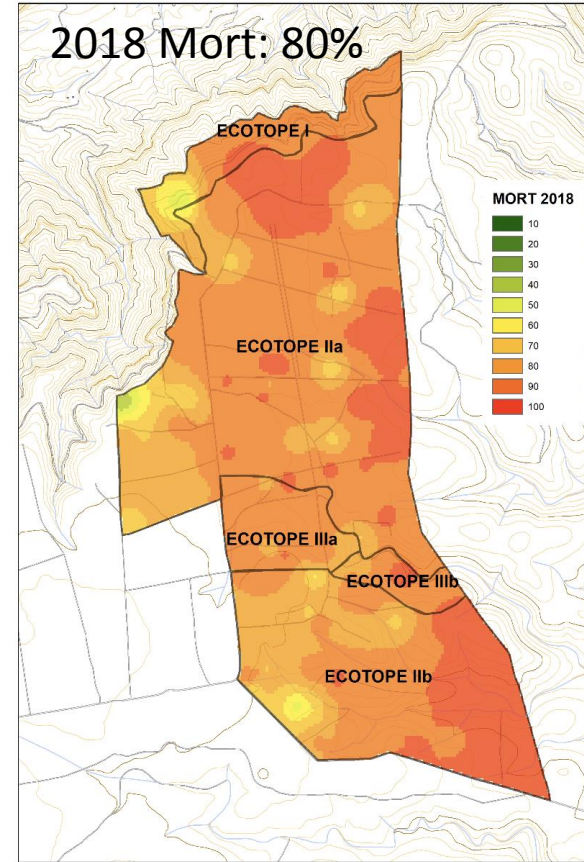
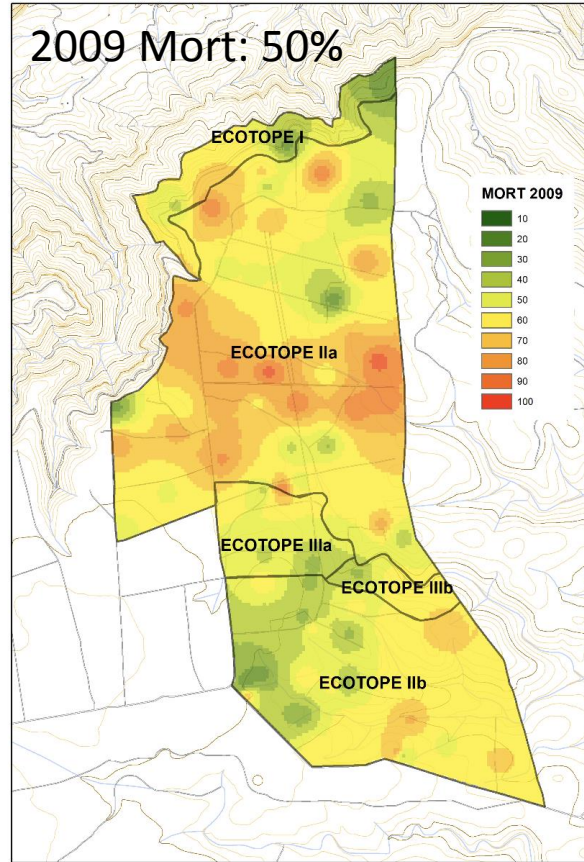
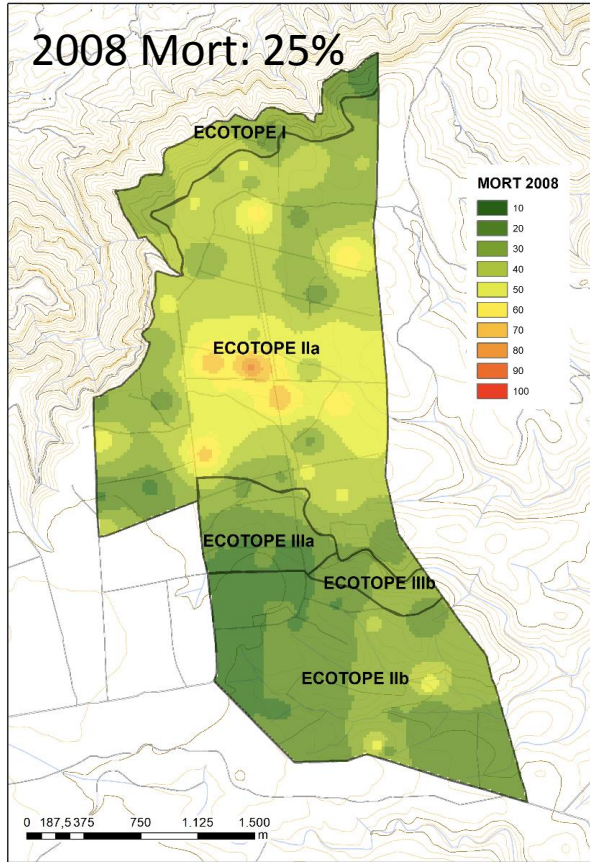


Models of (a) carbon cycling and (b) water cycling in fields and after reforestation. Differences in arrow width between an agricultural field and reforestation indicate the relative increase or decrease in a stock following reforestation. NPP = net primary production. Estimates for stocks and fluxes are given in brackets whereas only changes in water cycling following reforestation are indicated. These were calculated from the following sources: <sup>a</sup>Lal (2004); <sup>b</sup>Benfield (1997); <sup>c</sup>Zhang et al. (2001); <sup>d</sup>Lal (2004); <sup>e</sup>Bondeau et al. (2007); <sup>f</sup>Prentice and Euskirchen (2004); <sup>g</sup>Hansen et al. (2010); <sup>h</sup>Benfield (1997); <sup>i</sup>Zhang et al. (2001); <sup>l</sup>Lal (2004).

# Revisión de técnicas



# Revisión de técnicas. Un ejemplo en Vlčia.



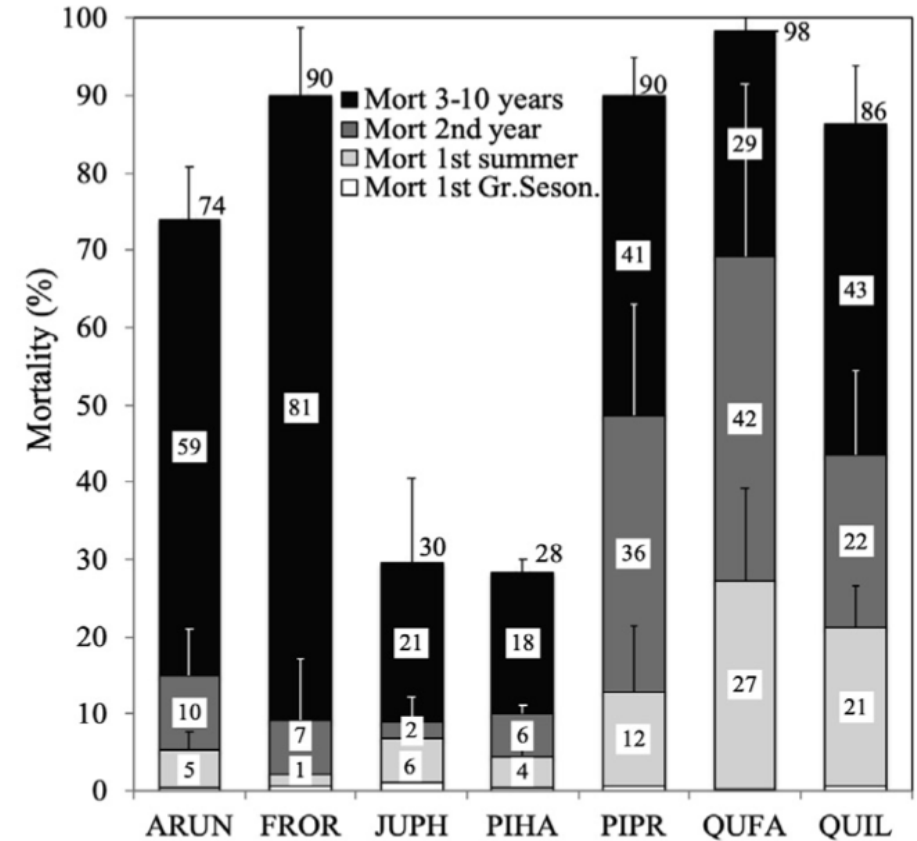
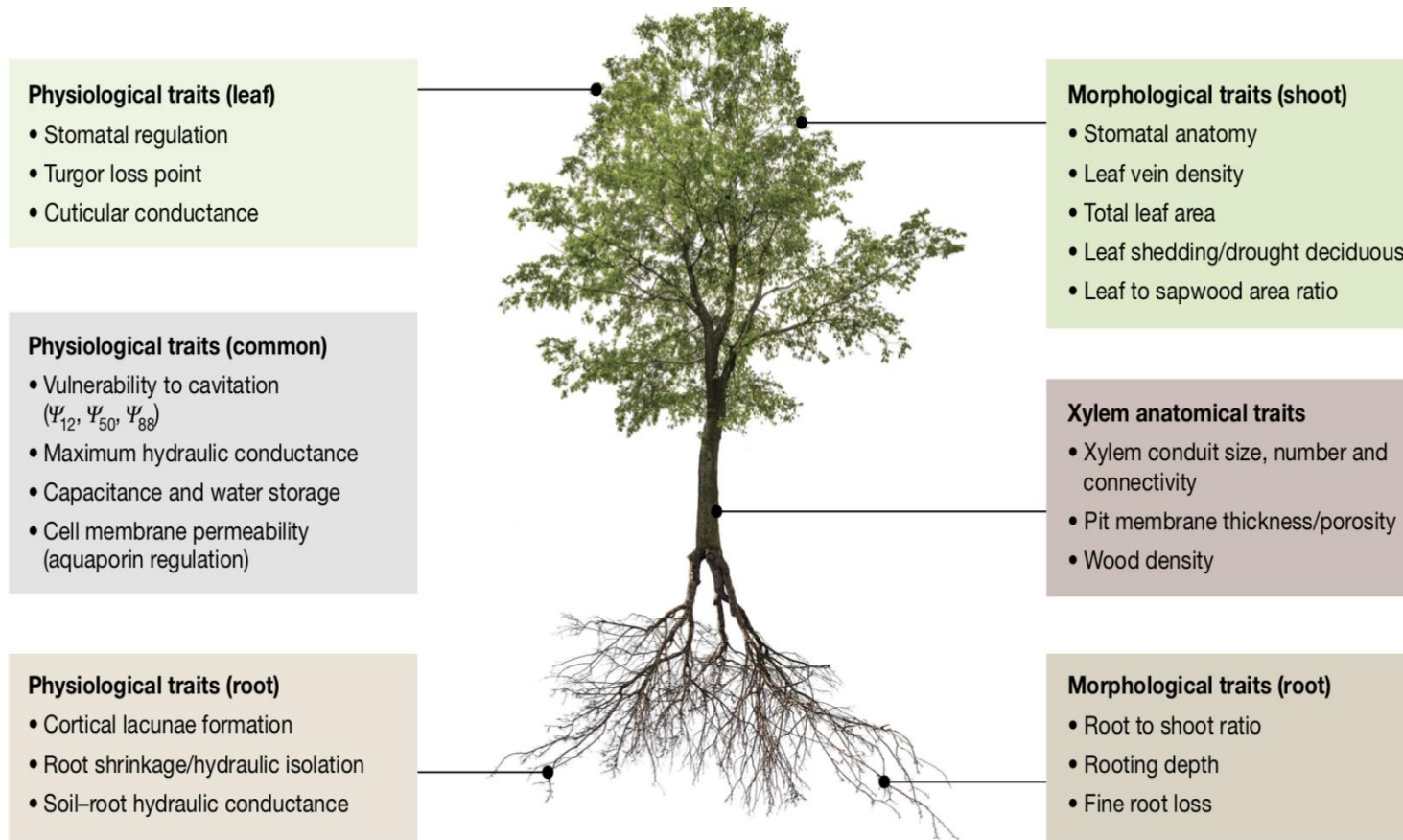
Del Campo et al., 2021

- El margen de mejora técnica  $\approx$  del 10-22 %

R.I. %	2008	2008-09	2008-18
Ecol_Topo	7	5	3
Ecol_Sate.	10	35	59
Ecol_Veg.	7	6	4
Ecol_Soil	9	7	5
Met_plant.	16	13	8
Met_droug.		0	0.1
Proj_des	15	9	6
Proj_works	7	6	4
SQ	0.1	0	0



# Revisión de técnicas: Selección de especies con base ecofisiológica (no florística) Choat et al., 2018, (10.1038/s41586-018-0240-x)



**Fig. 3 | Tree hydraulic traits associated with drought-induced mortality.** Trees use a variety of interdependent and coordinated morphological, anatomical and physiological traits to mitigate water loss and the development of increasingly negative xylem sap pressures during drought. This includes tissue-specific traits that function in the unique microenvironment of roots, stems and leaves, as well as traits that are common among most tissue types in trees. Many structure-function

relationships exist between traits, for example, variation in xylem anatomical traits (pit membrane porosity, conduit size and connectivity) determine species and population-level vulnerability to cavitation. Note that this figure does not represent an exhaustive list of hydraulic traits relevant to the response of trees to drought and drought-induced mortality.

# Revisión de técnicas: Selección de especies con base ecofisiológica (no florística)

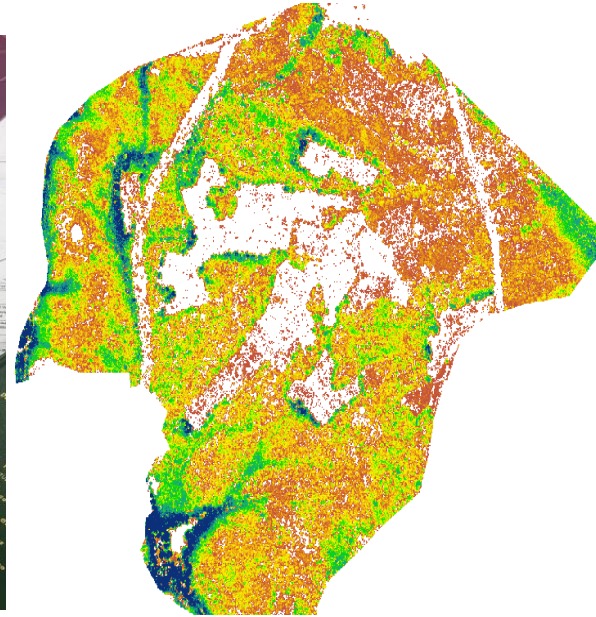
- Rasgos que relacionan las estrategias de sequía y estrés hídrico con el rendimiento en plantación.
  - Tipo de xilema: PR: anillo poroso, DP: difuso-poroso y T: traqueida.
  - $\Psi_{50}$ , potencial de agua que causa una pérdida del 50% de conductividad.
  - $\Psi_{md}$  potencial de agua al mediodía en verano y / o plantas con estrés hídrico.
  - gs, conductancia estomática bajo estrés hídrico.

	<i>Arbutus unedo</i>	<i>Juniperus phoenicea</i>	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Quercus ilex</i>
<b>Type of xylem</b>	DP	T	T	DP
<b>Mean diam of early wood conduits, <math>\mu\text{m}</math></b>	20-50 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>	17 <sup>z</sup> , 22 <sup>b</sup>	50-100 <sup>a</sup> , 80 <sup>e</sup>
<b>Inter-conduit pit membrane diam, <math>\mu\text{m}</math></b>	>10 <sup>a</sup>		2 <sup>z</sup> (0.6 torus to pit apert. overlap)	4-7 <sup>a</sup>
<b><math>\Psi_{50}</math>, -MPa</b>	3.1	> 8	4.7	2.0
<b><math>\Psi_{md}</math>, -MPa</b>	4.0 <sup>k</sup>	3.6 <sup>q</sup> , 7.5 <sup>l</sup>	0.7 <sup>q</sup> , 0.8 <sup>aa</sup>	1.9 <sup>q</sup> , 3.0 <sup>k</sup> , 3.5 <sup>n,m</sup>
<b>gs, <math>\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}</math></b>	20	27-35	12-15	65
<b>Rooting depth</b>	Shallow <sup>k</sup>	Shallow <sup>l</sup>	Shallow <sup>ac,ad</sup>	Deep <sup>k</sup>
<b>Embolism repairment</b>	Yes	No	No	Yes-no



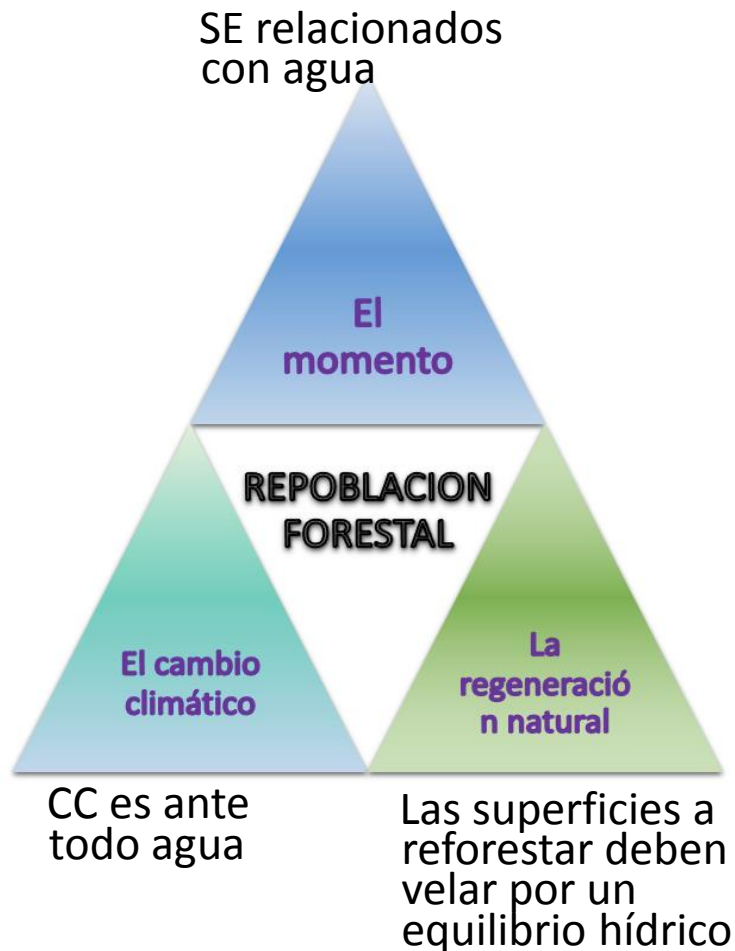
# Revisión de técnicas: tratamientos ajustados especie-sitio

- Zonificación → Selección de especies
- Preparación del sitio
- Plantación
- Tratamientos culturales



# Conclusiones

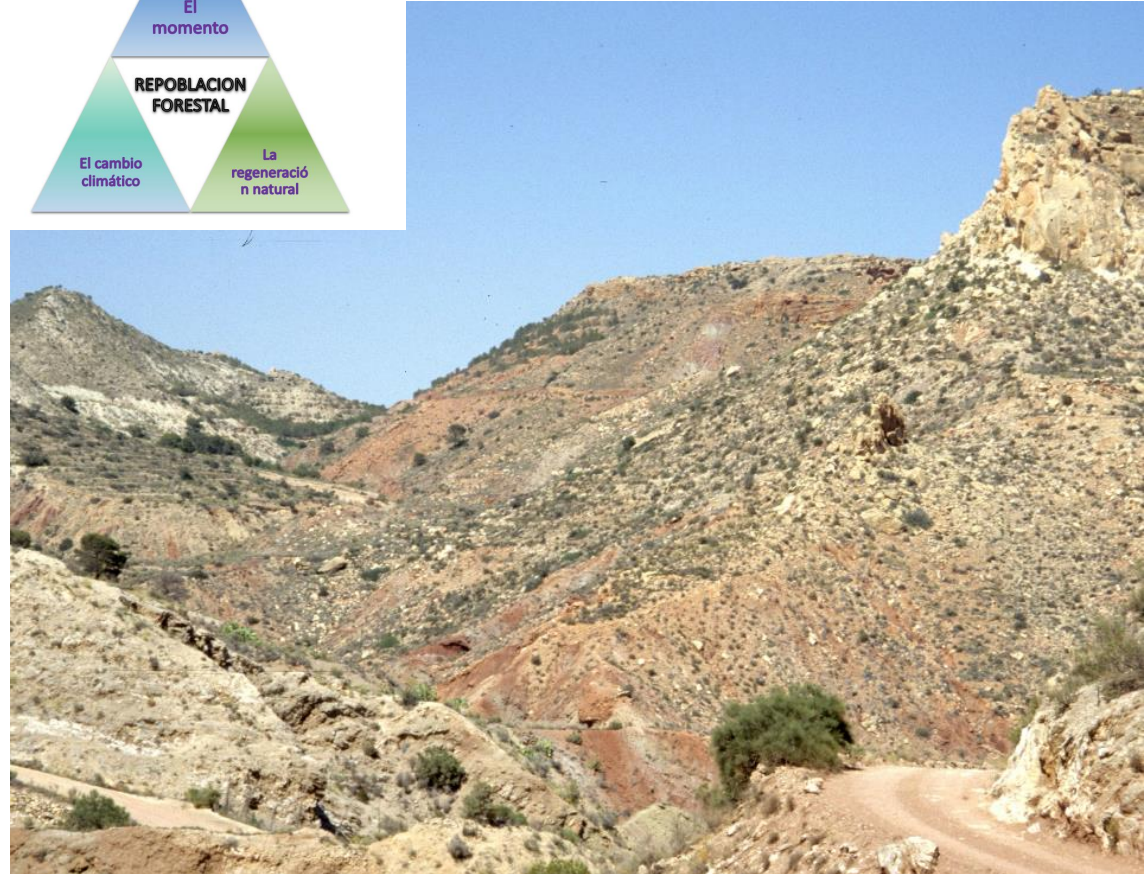
- Hidrología y Repoblaciones: más unidos que nunca



- La técnica se ha de basar en el agua
  - Zonificación
  - Densidad de plantación y la mezcla de especies
  - Justificación de tratamientos de protección
  - Optimización ejecución según fechas, topografía, condiciones de humedad del suelo, etc.
- Seguimiento (cuantificación) del efecto del proyecto y sus objetivos en el sistema socio-ecológico



*GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN*



Agradecimientos:

CMAAUV, Generalitat Valenciana

SilvAdapt.net (RED2018-102719-T)

CEHYRFO-MED (CGL2017-86839-C3-2-R)

RESILIENT-FORESTS (LIFE17 CCA/ES/000063)

**A.D. del Campo / Guillem Segura / Javier Hermoso (GVA)**

[ancamga@upv.es](mailto:ancamga@upv.es) - [antonio.delcampo@desertleaves.org](mailto:antonio.delcampo@desertleaves.org)