

Curso sobre mitigación de los efectos adversos del Cambio Climático mediante programas de reforestación
Cartagena de Indias(Colombia), 12-16 septiembre 2016

Criterios de selección (I): Fenotipado

Eduardo Notivol

Unidad de Recursos Forestales

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón

enotivol@cita-aragon.es



Rutilio Tauro Emiliano **Paladio (s.IV)**

***“Bene eligi serenda non possunt,
nisi hoc officium prius electus
assumat”***

No se pueden seleccionar bien las
semillas si no se ha seleccionado
previamente al que haga esta labor



¿Por qué hablamos de selección?

Selección natural (ayer)

(finalidad)

- Manejo forestal
- Mejoramiento genético
- Técnicos Gestión del territorio
- Propietarios
- Comunidades locales
- Planificador /*stakeholders*...
- Políticos

B
R
O
S
Q
U
C
E



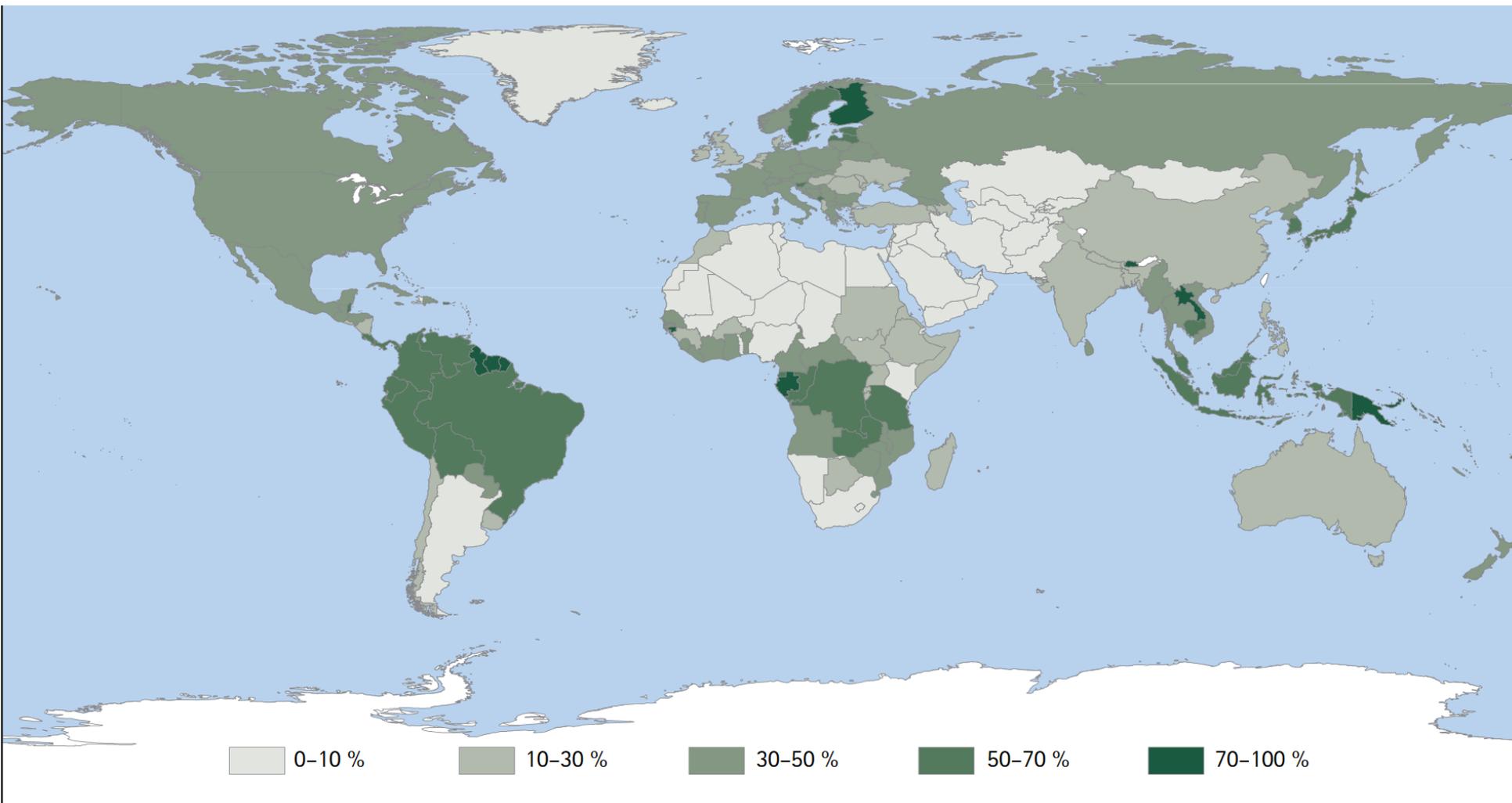
Cambio Global /Climatico

MUNDO
(234 países y territorios)

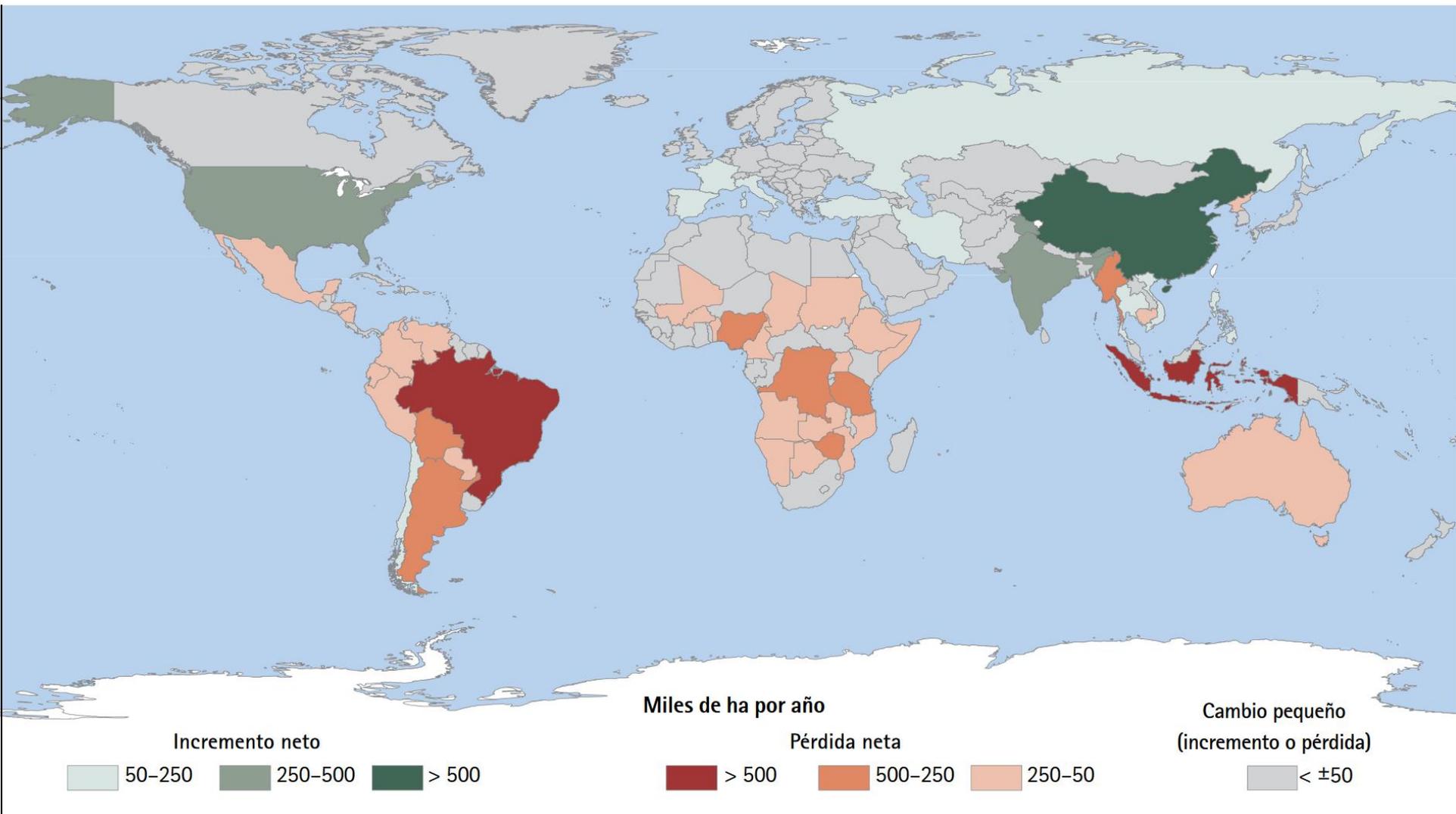
Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)
ÁREA DE BOSQUES Y CARACTERÍSTICAS			
Área de bosque (millones de ha, 2015)	3 999	↓	-0,13
Área de otras tierras boscosas (millones de ha, 2015)	1 204	↓	-0,10
Área de otras tierras con cubierta forestal (millones de ha, 2015)	284	↑	0,52
Reforestación anual media (millones de ha, 2015)	27	↑	1,57
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	3 695	↓	-0,24
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	291	↑	1,84



Area de bosque



Incremento/perdida anual neta 1990-2015



Curso sobre mitigación de los efectos adversos del Cambio Climático mediante programas de reforestación. Cartagena de Indias, 12-16 septiembre 2016



ÁFRICA (58 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	624	↓	-0,49	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	600	↓	-0,54	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	16	↑	1,34	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	-2,8			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	-3,1			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	0,2			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	79	↓	-0,37	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	128	↑	0,13	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	60	↓	-0,43	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	96	↑	0,07	A/A

ASIA (48 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	593	↑	0,17	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	462	↓	-0,24	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	129	↑	2,17	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	0,8			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	-1,0			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	1,8			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	55	↑	0,28	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	93	↑	0,11	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	36	↓	-0,23	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	61	↓	-0,41	A/A



EUROPA (50 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	1 015	↑	0,08	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	929	~	0,01	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	83	↑	1,11	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	0,4			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	0,01			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	0,4			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	115	↑	0,40	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	113	↑	0,32	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	45	↑	0,37	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	45	↑	0,29	A/A

AMÉRICA DEL NORTE Y AMÉRICA CENTRAL (39 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	751	~	-0,01	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	707	↓	-0,11	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	43	↑	2,51	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	0,1			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	-0,4			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	0,5			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	96	↑	0,29	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	129	↑	0,30	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	36	↑	0,23	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	58	↑	0,24	A/A



OCEANÍA (25 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	174	↓	-0,08	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	169	↓	-0,12	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	4,4	↑	1,82	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	0,3			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	0,3			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	0,03			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	35	↑	0,08	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	202	↑	0,15	B/B
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	16	~	0,05	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	92	↑	0,13	A/A

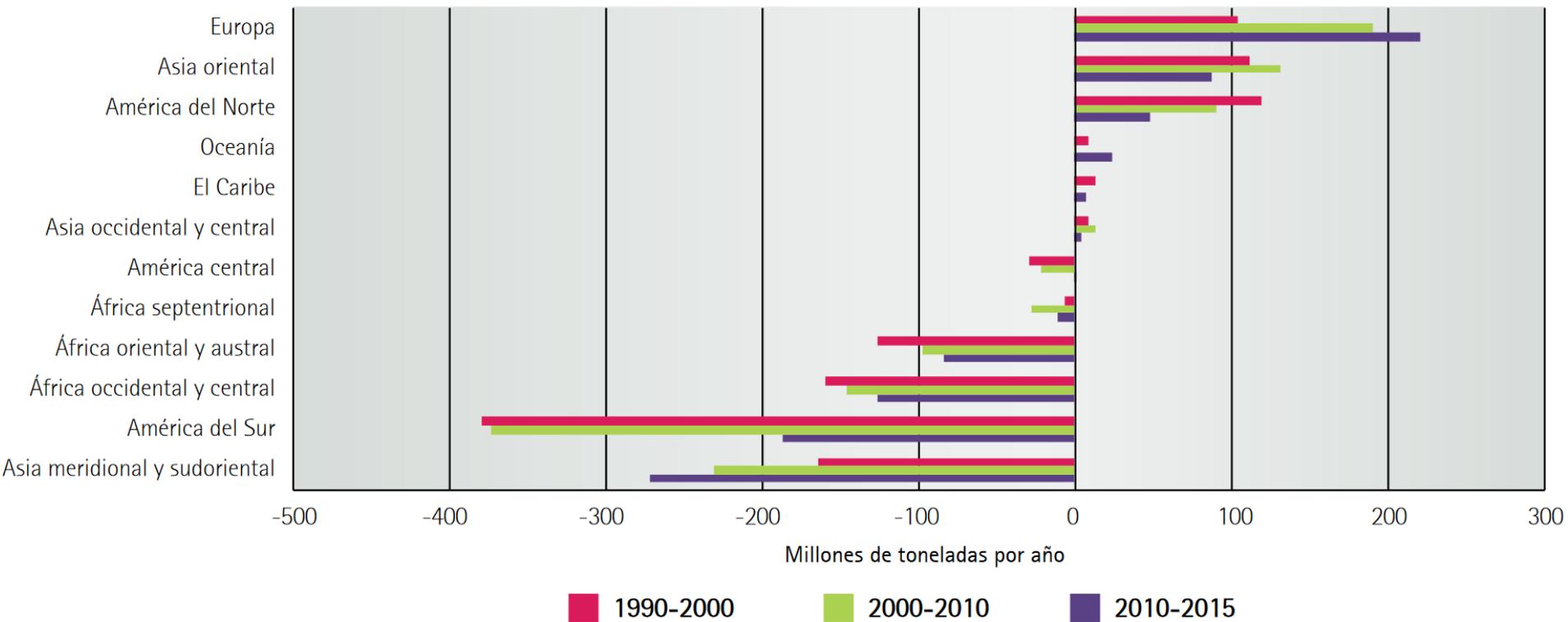
AMÉRICA DEL SUR (14 países y territorios)

Variable (unidad, año) ^a	Total	Dirección del cambio ^b	Cambio anual ^b (%)	Disponibilidad de datos ^c (situación/tendencia)
Área de bosque (millones de ha, 2015)	842	↓	-0,40	A/A
Bosque natural (millones de ha, 2015) ^d	827	↓	-0,43	A/A
Bosque plantado (millones de ha, 2015)	15	↑	2,38	A/A
Cambio neto anual del bosque (millones de ha, 2010–2015)	-2,0			A/*
Cambio neto anual del bosque natural (millones de ha, 2010–2015) ^d	-2,2			A/*
Cambio neto anual del bosque plantado (millones de ha, 2010–2015)	0,4			A/*
Existencias en formación en los bosques (miles de millones de m ³ , 2015) ^e	150	↓	-0,28	A/A
Existencias en formación en los bosques (m ³ por ha, 2015) ^e	178	↑	0,12	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (Gt, 2015) ^e	103	↓	-0,31	A/A
Carbono en la biomasa por encima y por debajo del suelo (toneladas por ha, 2015) ^e	122	↑	0,09	A/A

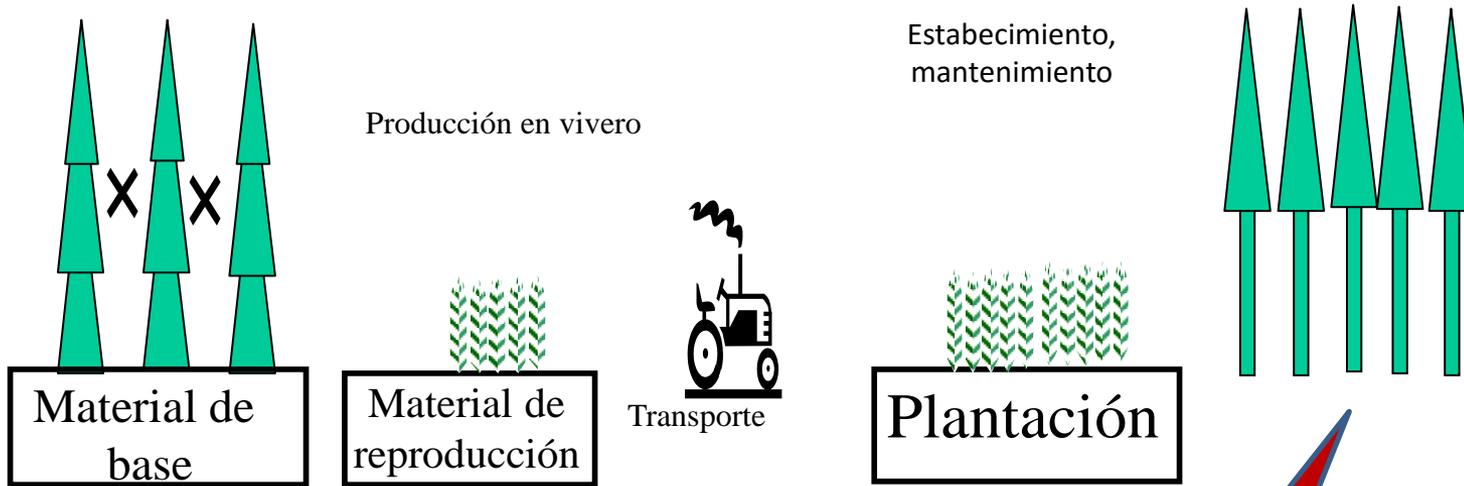


Durante los últimos 25 años las existencias de carbono de la biomasa forestal se han reducido en casi 11,1 Gt, lo que equivale a una disminución de 442 millones de toneladas

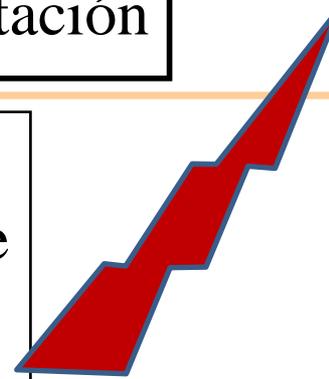
Cambios en las existencias de carbono en la biomasa forestal, 1990-2015



Uso de material forestal de reproducción en reforestación



Cuales son las características que deseamos en nuestras plantaciones futuras?



GUIÓN

- Introducción
- Finalidad
 - Qué?
 - Cómo?
 - Para qué?



Requisitos de un carácter para su uso en un programa de mejora

- Tener un alto valor económico
- Tener una heredabilidad alta
- Ser fácilmente seleccionable a edades jóvenes
- No estar correlacionados positivamente con caracteres no deseables
- Estar correlacionados positivamente con rasgos de importancia económica



Crecimiento

- Altura
- Diámetro
- Area basimétrica
- Competencia
 - Estimación de distancias, tamaños



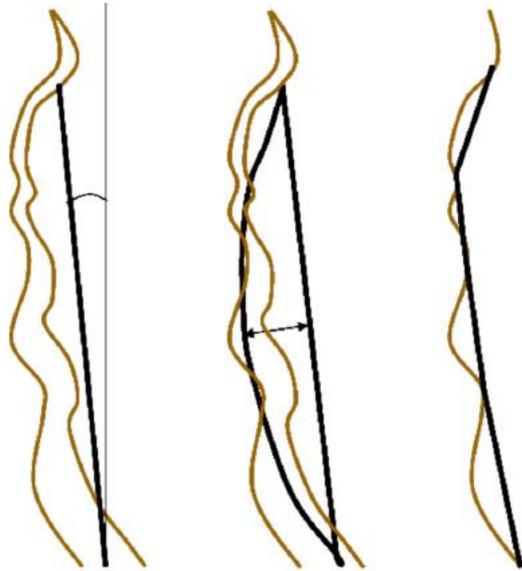
Morfológicos

- Rectitud
- Curvatura basal
- Angulo de ramas
- Grosor ramas
- Dominancia apical
- Ahorquillamiento



Rectitud

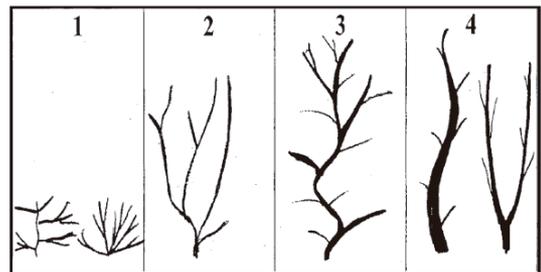
Forma del tronco



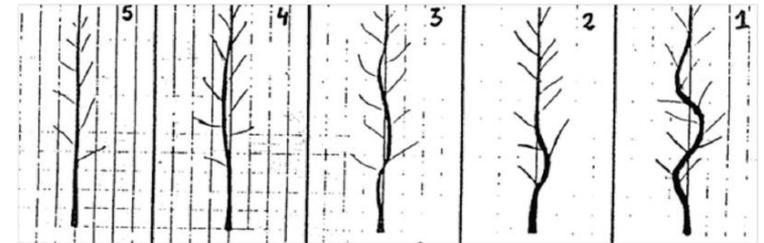
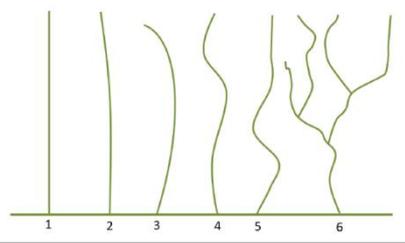
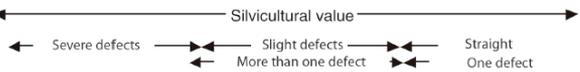
Inclinado Arqueado Sinuoso



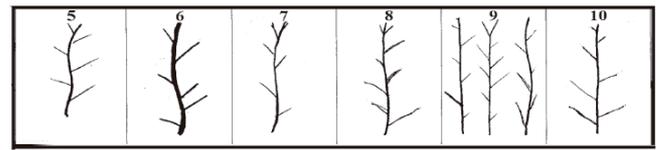
Implicaciones?



Puntuación = f (numero e intensidad)

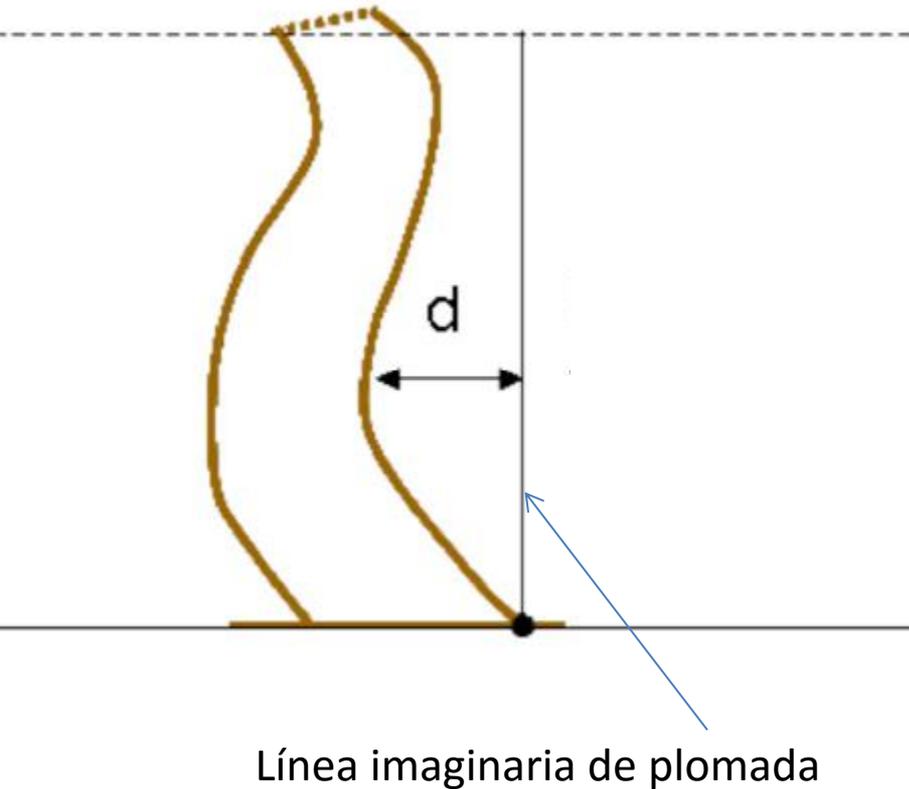


- 1) Perfectly straight, no flaws;
- 2) one minor deviation from straightness;
- 3) stem curved one-sidedly;
- 4) stem with several curves (sinusoidal);
- 5) sinuoidal stem with crooks;
- 6) no main axis, bushy.



Inclinación basal

Implicaciones?

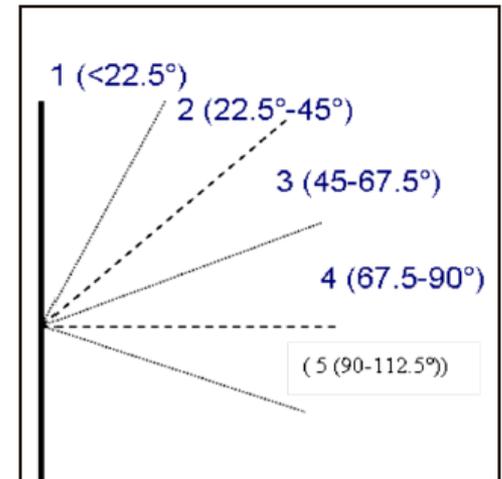
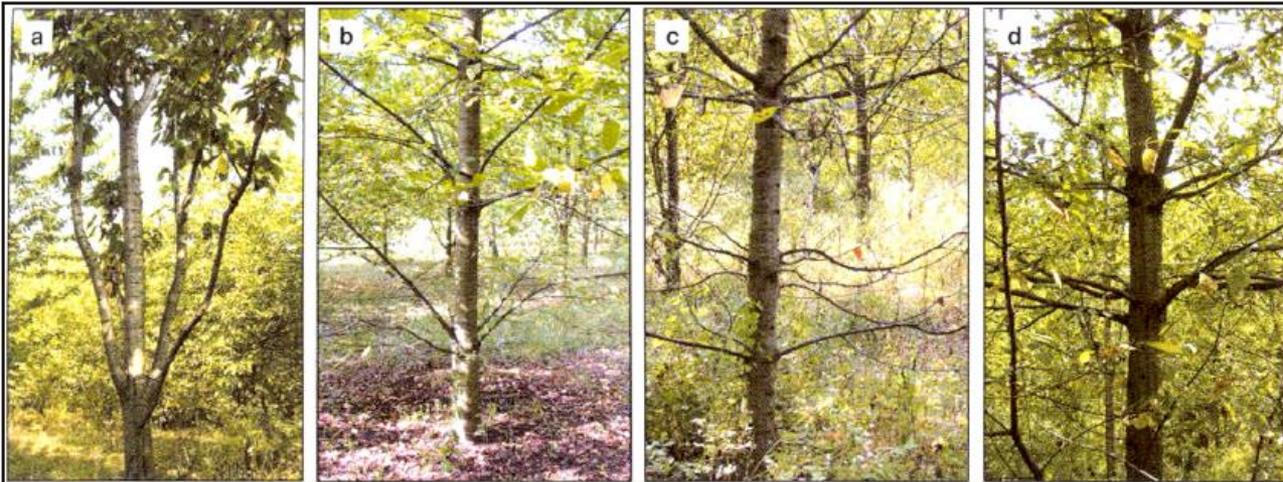
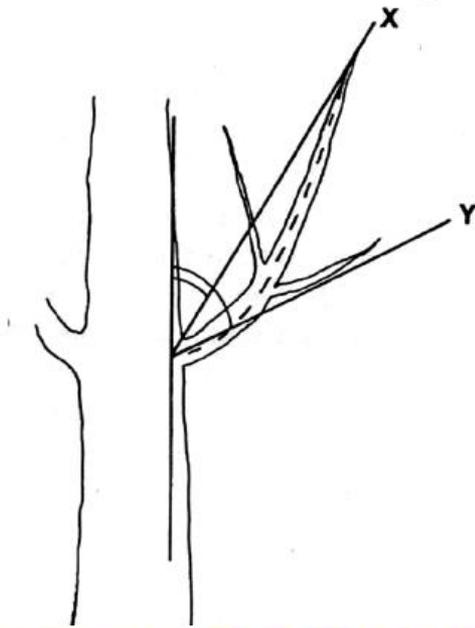


“d” en su máximo y por encima de 1.3 m.



Angulo inserción ramas

Implicaciones?



Puntuación = f (valor, intervalos)



Grosor Ramas

Implicaciones?

Puntuación = f (dimension relativa al tronco)



1

$\frac{1}{2}$ of stem diameter



2

$\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{3}$



3

$\frac{1}{3}$ to $\frac{1}{4}$



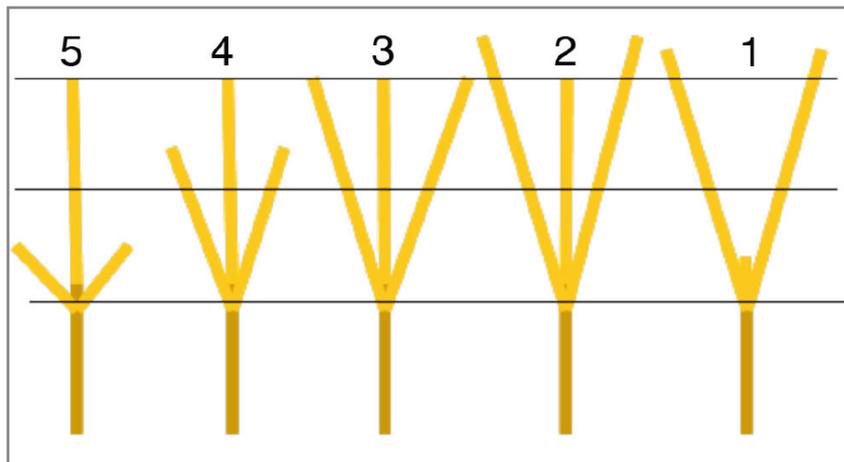
4

Less than $\frac{1}{4}$



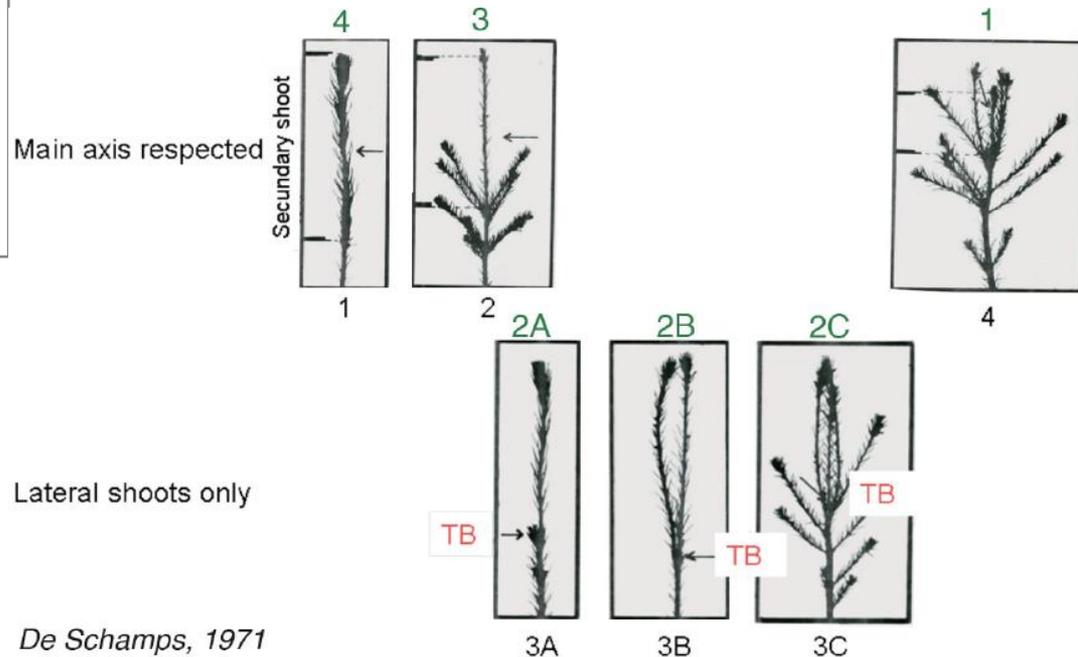
Dominancia apical

Implicaciones?



5 = Main leader respected with lateral branches extending to less than half terminal shoot length;
 4 = main leader respected with lateral branches extending slightly over half of terminal shoot length;
 3 = main leader respected with lateral branches extending from half of the terminal shoot length to its length;
 2 = main leader respected with lateral branches extending over terminal shoot length;
 1 = main leader absent or very short, with in this case, lateral branches largely extending over the terminal shoot length.

Puntuación = f (dimensiones relativas laterales y/o mantenimiento del eje)



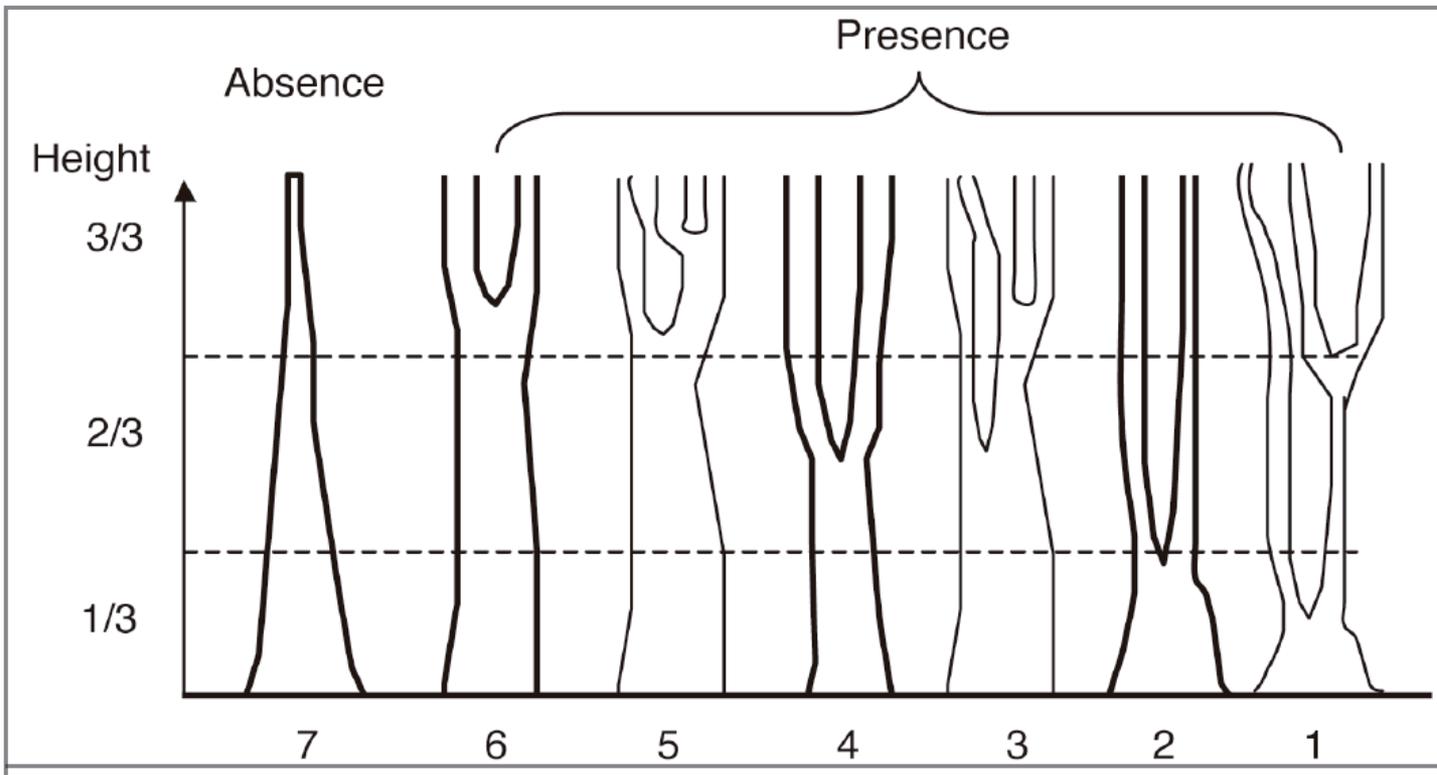
De Schamps, 1971



Ahorquillamiento

Puntuación = f (número y altura)

Implicaciones?



Adaptativos

- Fenología
 - Apertura y Formación de yema
 - Floración
 - Senescencia foliar
 - Actividad cambial
- Reproducción
 - Cuantitativo
 - Fenología /sincronización



F. Yema

Implicaciones?



Score 1

Score 2

Score 3



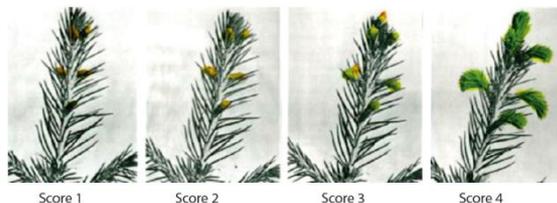
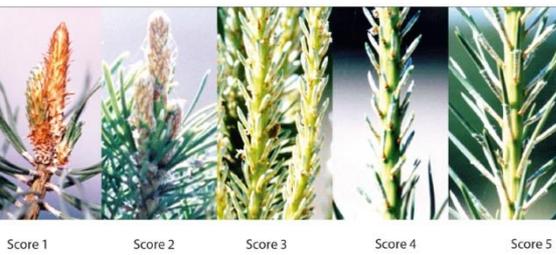
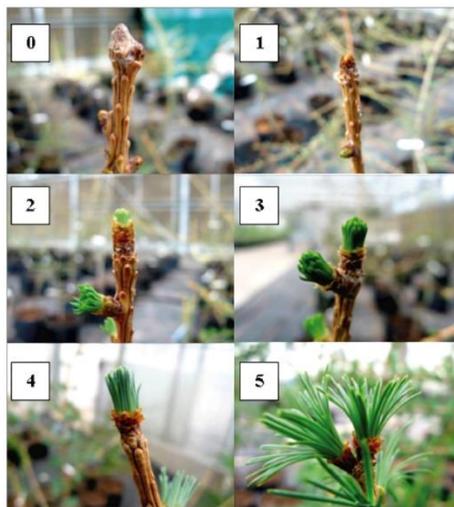
Score 4



Score 5



Score 6

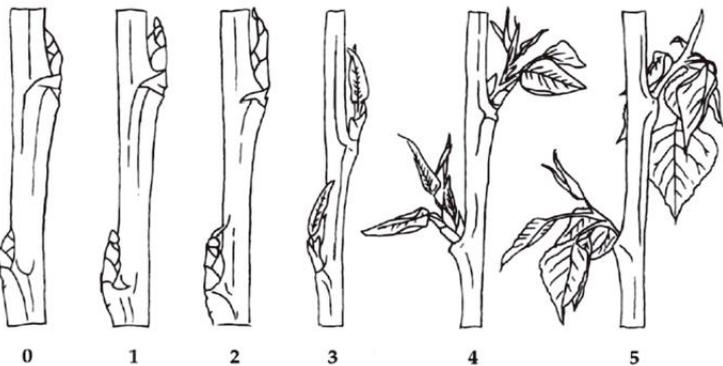


Score 1

Score 2

Score 3

Score 4



0

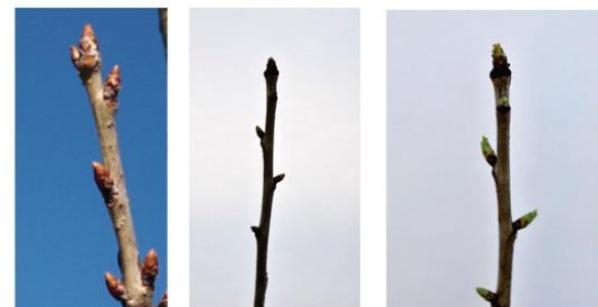
1

2

3

4

5



Score 0

Score 1

Score 2



Score 3

Score 4

Score 5

Puntuación = f (fases y formas específicas por especie)



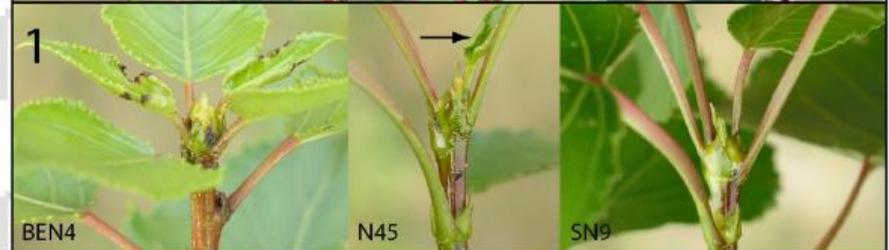
Bud-set Score Card *Populus nigra*

leaves/scales

balsam

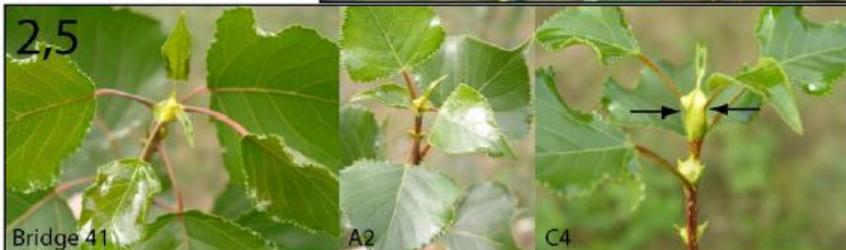
(indicative, depends on genotype)

apical shoot fully growing > 2 rolled-up young leaves	3	shoot	lots of balsam covering multiple internodes
last leaves still rolled-up last leaves at equal height internodes become shorter	2,5		apical shoot fully covered with balsam, also present on subtending nodes
shoot/internode growth reduced 2 nd last leaf fully stretched last leaf bright green	2		apical shoot fully covered with balsam, also present in 1 subtending node
transition from shoot to bud structure colour of 2 nd last leaf is comparable to older leaves last leaf partially rolled ⁽¹⁾	1,5	bud	top wet and covered, mostly absent in subtending nodes
apical bud not fully closed, bud scales predominantly green no more rolled-up leaves ⁽¹⁾	1		bud well visible, no longer fully covered with balsam
apical bud fully closed colour between green and red, stipules of the two last leaves still green	0,5		bud is drying, remaining balsam sticky and shiny
apical bud red-brown	0		bud has fully dried, no balsam visible



⁽¹⁾ : last leaf can not always be scored reliably (eg N45)

it can potentially be scored separately whether last leaf (or leaf tip) is exposed from the bud



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



Fen. floración

Implicaciones?



Score 1 Score 2 Score 3



Score 0-1 Score 2 Score 3



Score 4 Score 5

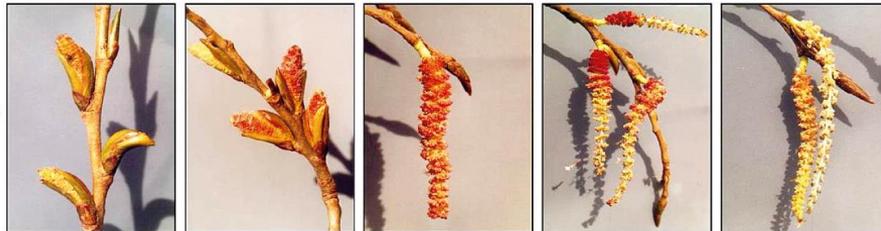


Score 4 Score 5

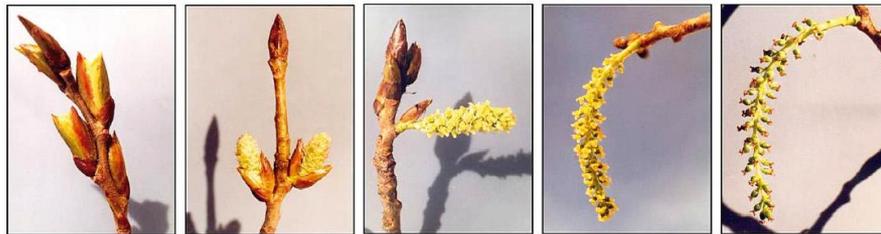


Score 1 Score 2 Score 3 Score 4 Score 5

Score 1 Score 2 Score 3 Score 4 Score 5



♂



♀



Score 1 Score 2 Score 3 Score 4 Score 5

Puntuación = f (fases y formas específicas por especie)



1 - Buds no active, scales brown and closed.



1

2 - Buds increase size, scales start to separate so that first leaf edges are visible.



2

Fenología integrada

A - Flower phenology



3
Flower bud broken, flowers petals still closed, petiole elongating.



4
Anthesis evident on at least 1/3 of flowers.



5
Anthesis evident on at least 2/3 of flowers.



6
Anthesis covering all the crown.



7
1/3 of flower lost petals.



8
>2/3 of flowers have lost petals.

B - Leaves phenology



3
Bud broken, leaves still folding within.



4
Leaves start elongation.



5
Leaves not complete



6
Leaves complete



7
Leaves complete in some cases formed.

C - Fruit ripening phenology



9
1/1 of cherries is green.



10
< 1/3 of cherries is orange-yellowish



11
<2/3 of cherries are orange-yellowish.



12
2/3 to 1/1 of cherries are orange-yellowish.



13
<1/3 of cherries is fully red.



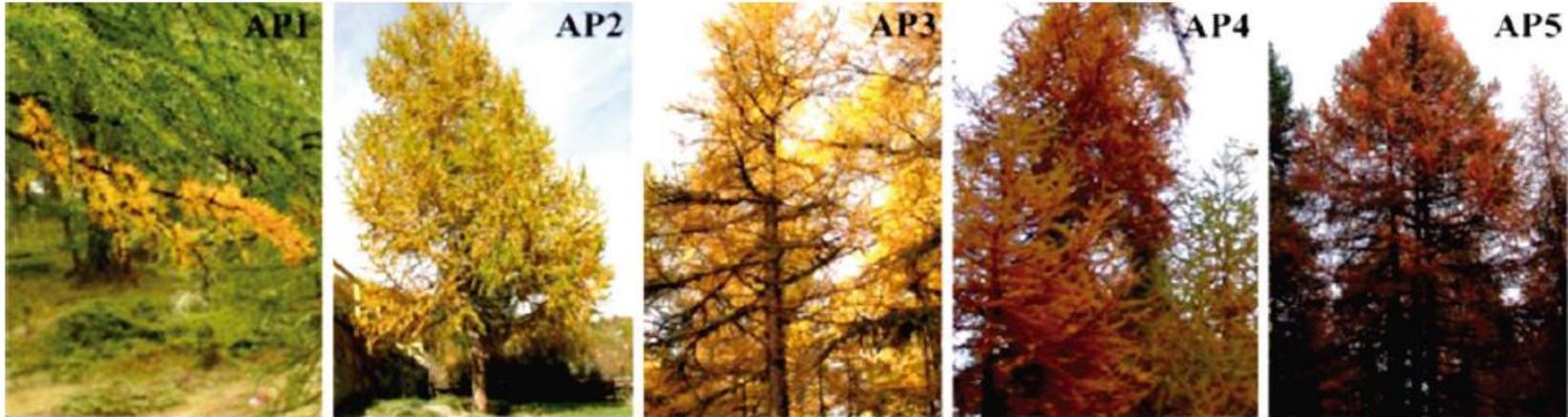
14
< 2/3 of cherries is fully red.



15
> 2/3 to 1/1 of cherries is fully red (Bordeaux).

Senescencia foliar

(climas templados)



Autumn Phases (AP)

AP1 = yellow spot decolouration

AP2 = green to yellow

AP3 = yellow [E_{GS}]

AP4 = yellow to bronze

AP5 = bronze

} *AP2-AP5:
decolouration spread
on the whole crown*

Implicaciones?

Puntuación = f (fases y colores por spp.)



Resistencias

(frío, enfermedades)

Step	Duration and conditions
Pre freezing	4 hours at +2 °C
Cooling to test temperature	4 hours
Freezing at test temperature	2 hours
Thawing from test temperature	4 hours
Post freezing	4 hours at +2 °C

Diferentes protocolos

Step	Duration and conditions
Pre freezing	3 hours at +2 °C
Cooling to test temperature	-6 K per hour
Freezing at test temperature	4 hours
Thawing from test temperature	+6 K per hour
Post freezing	3 hours at +2 °C



Resistencias/Tolerancias

Level of accuracy	Stages of discolouration		
	Undamaged	Intermediately damaged	Totally damaged
Overview	1 = No discolouration	2 = up to 33 % discoloured needles 3 = up to 66 % discoloured needles 4 = up to 99 % discoloured needles	5 = All needles discoloured
Precise	1 = No discolouration	2 = up to 20 % discoloured needles 3 = up to 40 % discoloured needles 4 = up to 60 % discoloured needles 5 = up to 80 % discoloured needles 6 = up to 99 % discoloured needles	7 = All needles discoloured
Very precise	1 = No discolouration	2 = up to 10 % discoloured needles 3 = up to 20 % discoloured needles 4 = up to 30 % discoloured needles 5 = up to 40 % discoloured needles 6 = up to 50 % discoloured needles 7 = up to 60 % discoloured needles 8 = up to 70 % discoloured needles 9 = up to 80 % discoloured needles 10 = up to 99 % discoloured needles	11 = All needles discoloured

Implicaciones?

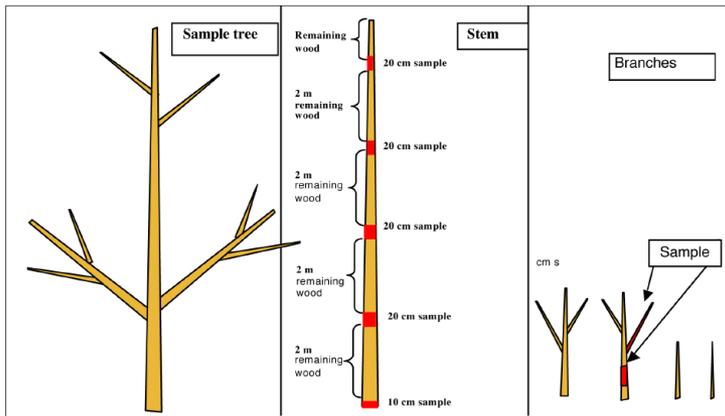
Puntuación = f (% y colores)



Biomasa

Muestras en campo

Implicaciones



$$DW_{(st)} = DW_{(bs)} * FW_{(st)} / FW_{(bs)}$$

$DW_{(st)}$ = Dry weight of sample tree

$DW_{(bs)}$ = Dry weight of biomass sample dried in the laboratory

$FW_{(st)}$ = Fresh weight of sample tree

$FW_{(bs)}$ = Fresh weight of biomass sample dried in the laboratory

Peso fresco en campo

Peso seco en laboratorio
Por fracciones

$$DW_{(sts)} = a_0 * DBH_{(sts)}^{a_1}$$

$DW_{(sts)}$ = Dry weight of sample tree (= biomass)

a_0 & a_1 = Coefficients of the regression function

$DBH_{(sts)}$ = Diameter at breast height of sample tree

$$BM = BM_{(sp)} / A_{(sp)}$$

BM = Biomass/Area (kg/ha)

$BM_{(sp)}$ = Biomass of the trees of the sample plot (kg)

$A_{(sp)}$ = Area of the sample plot (ha)

Establecimiento de
ecuaciones alométricas

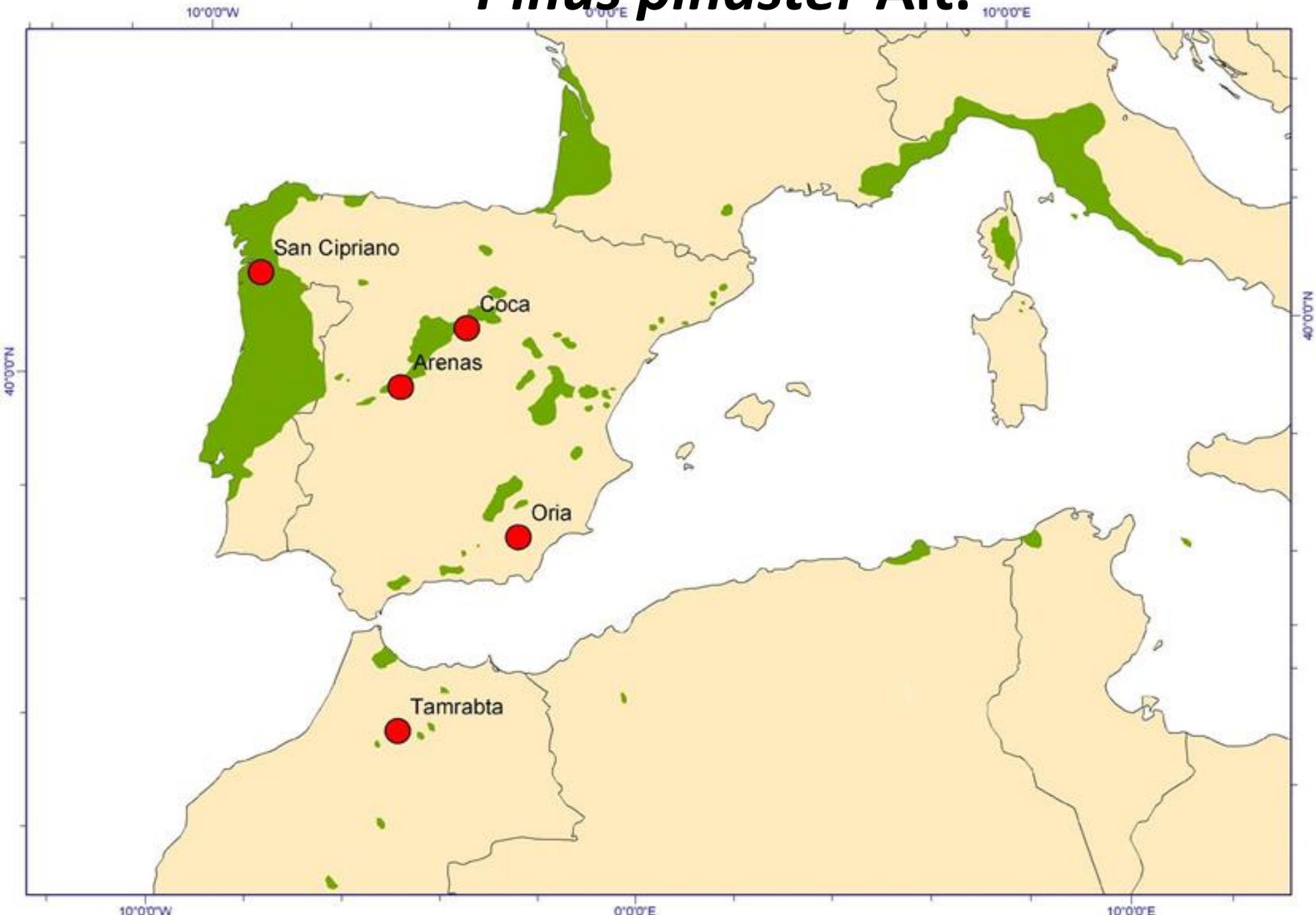
Relaciones espaciales



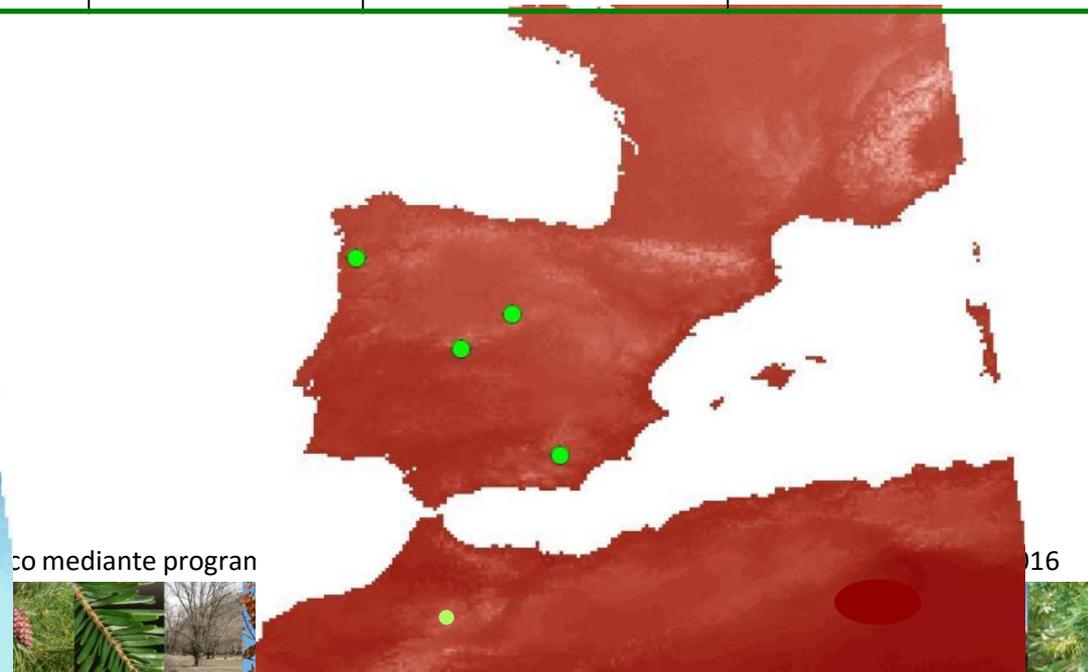
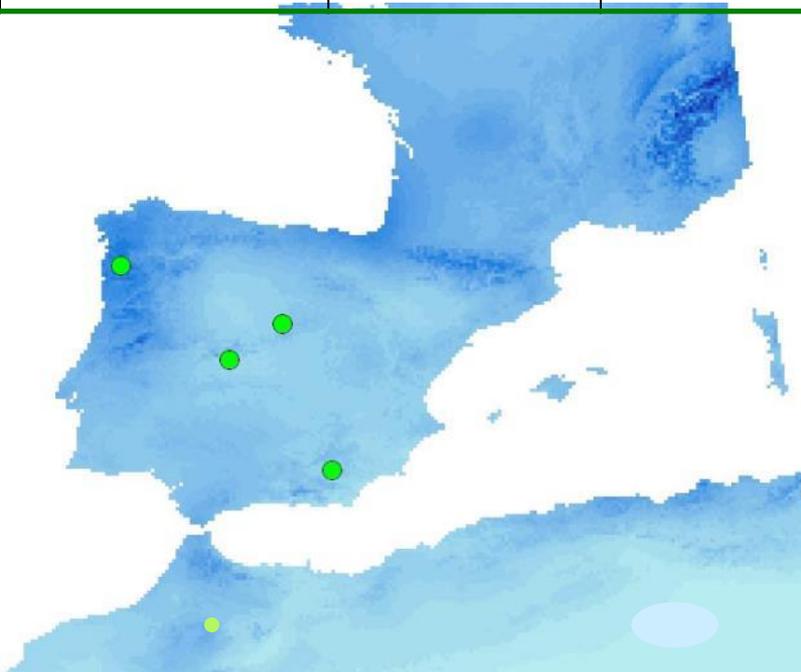
Fenotipo integrado



Pinus pinaster Ait.



	Arenas	Coca	Oria	Tamrabta	S.Cipriano
Lat (N)	40° 30'	41° 14'	37° 30'	33° 20'	42° 7'
Long (W)	4° 24'	3° 30'	2° 20'	5°	8° 22'
Elev (m)	1000	810	1300	1750	364
P (mm)	692	434	351.5	850	1334
T (°C)	14.6	12.02	14.4	20.5	12.4
TM (°C)	34.2	31.01	30.0	29.1	25.9
Tm (°C)	0.28	-2.3	3.0	1.2	1.85



co mediante program

16



Traits

- i) Soil-to-leaf hydraulic conductance
- ii) Biomass allocation
- iii) WUE (Water use efficiency)
- iv) rooting system architecture and topology
- v) Xylem anatomy

Height and diameter



Some 'surprising' results: variation exists!

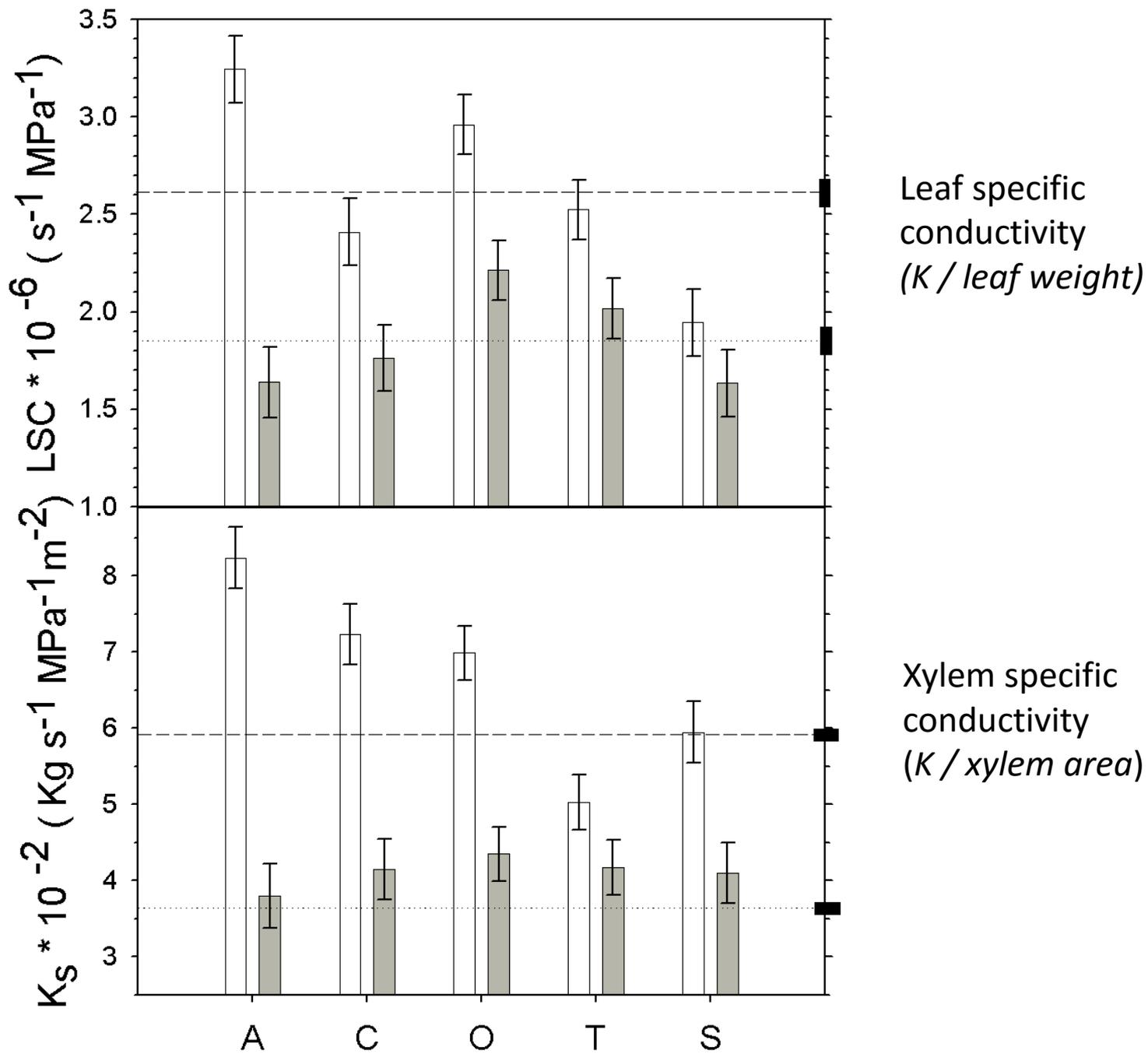
Anova summary

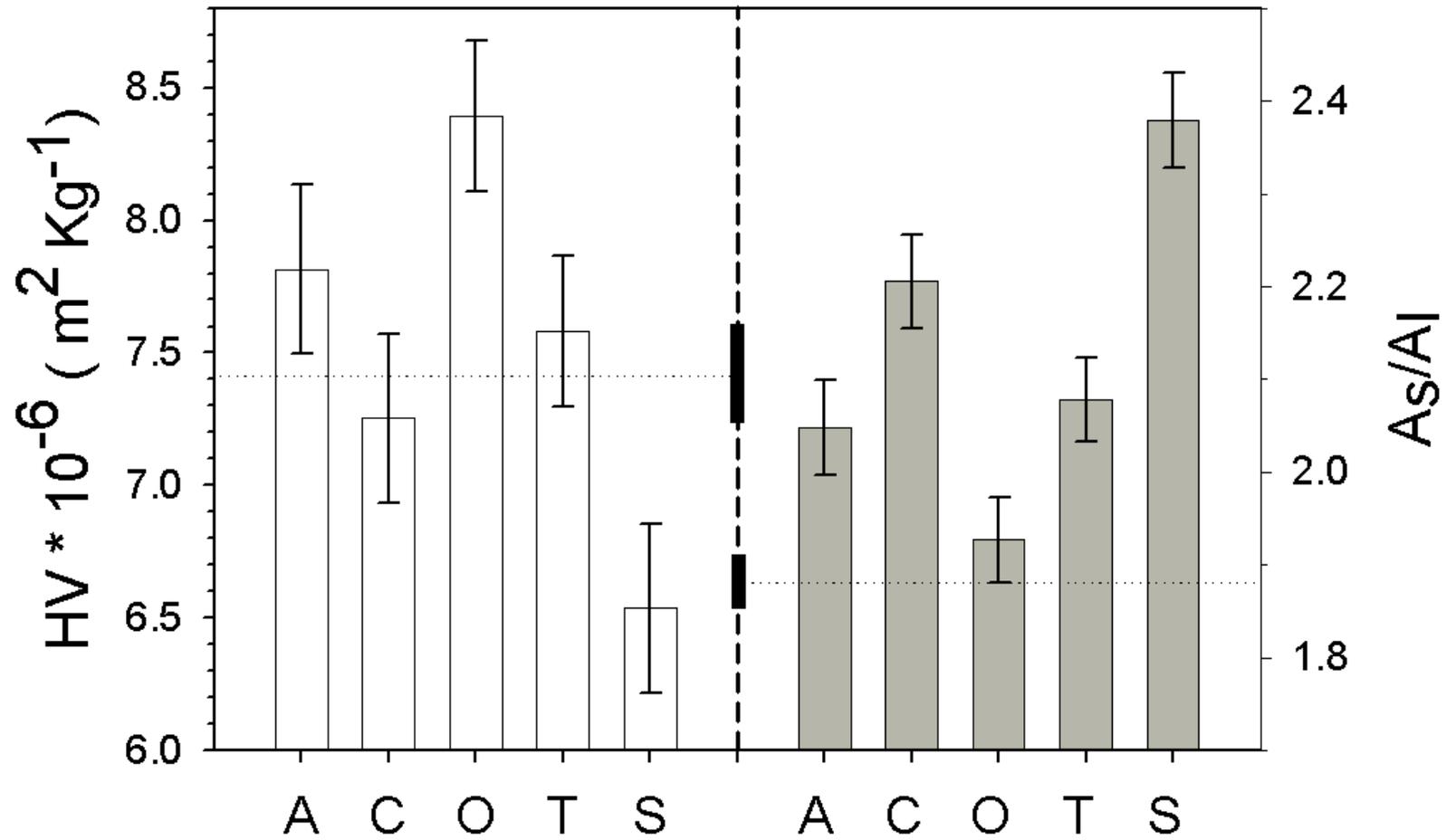
	Conductivity				13	H	D	Allocation							Rooting S				
S	***	***			**										***	***	***	***	***
P	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
PxS	***	***		***	***											*		**	
F	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
FxS	***	**			***	***	**					*		**	**	**	**	**	

Wood Anatomy

	L	W
F	***	**

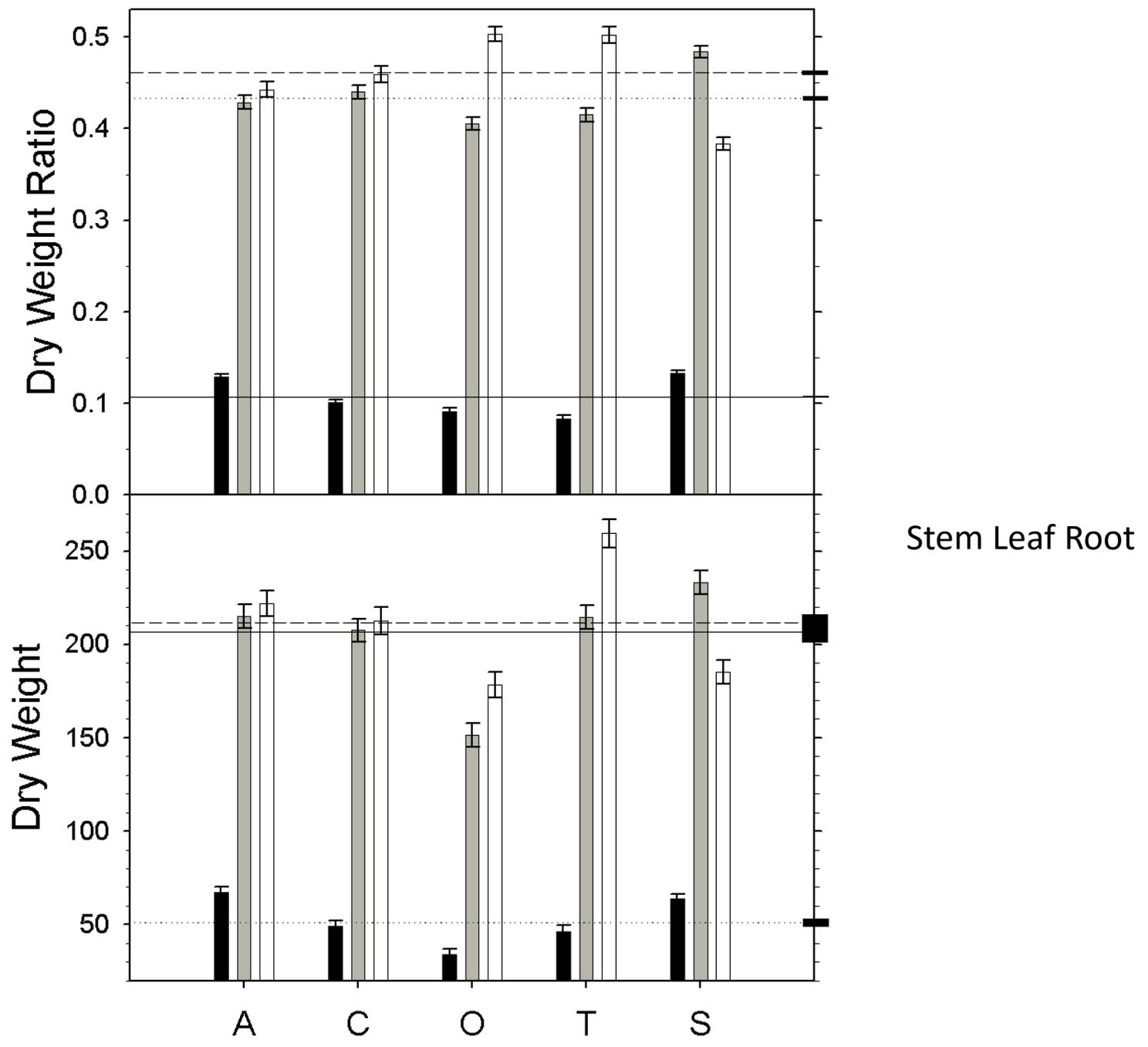




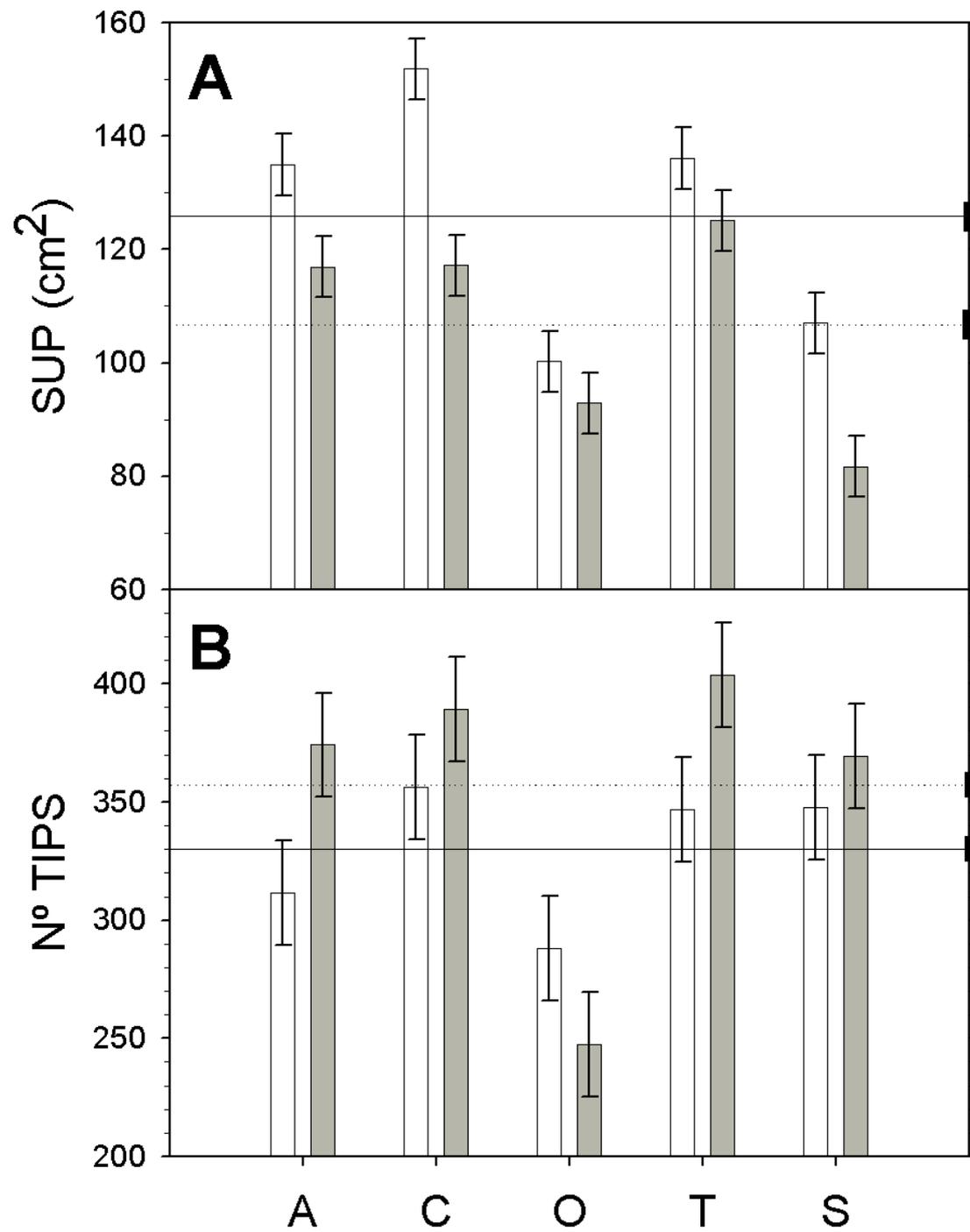


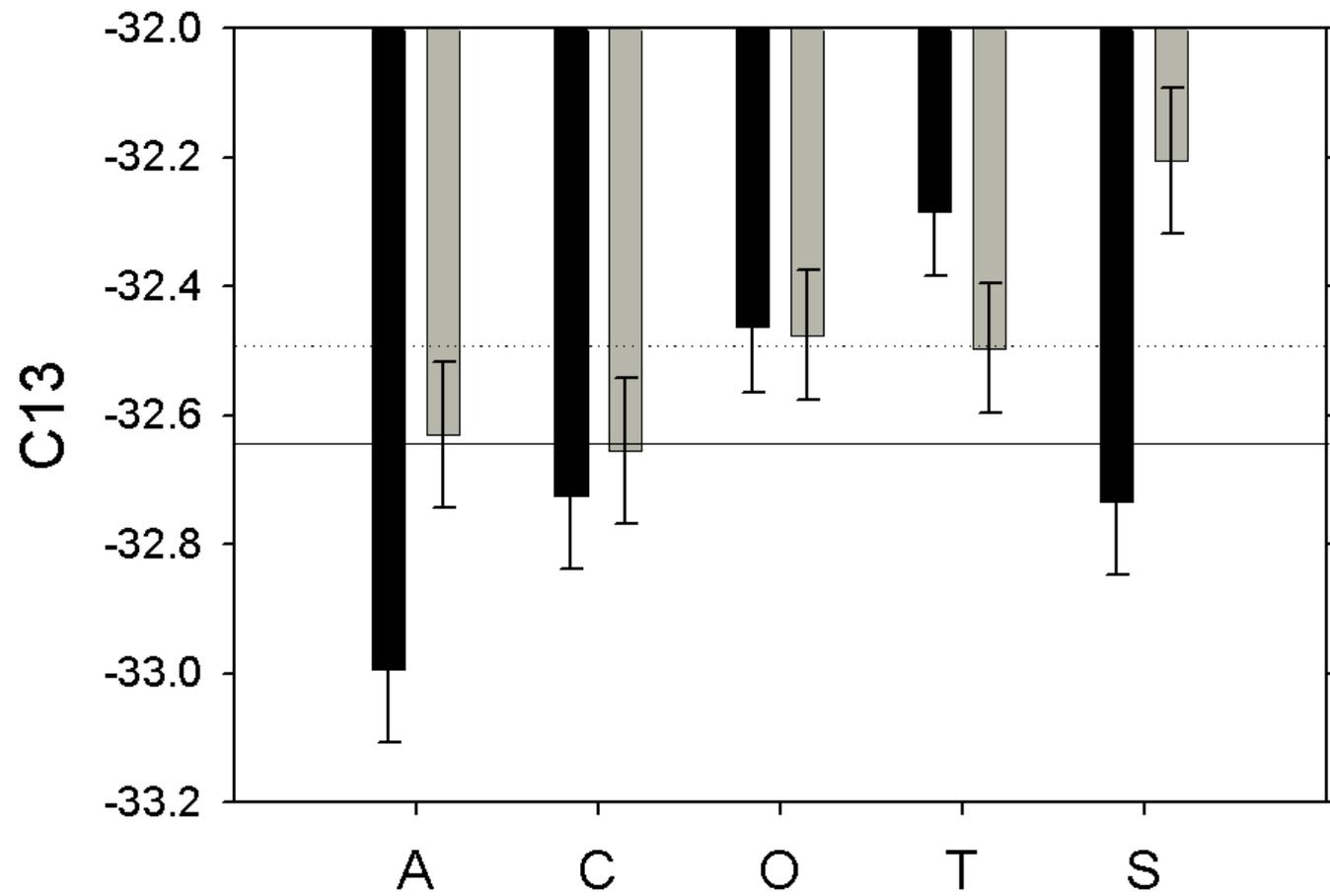
Cross xylem area / leaf weight

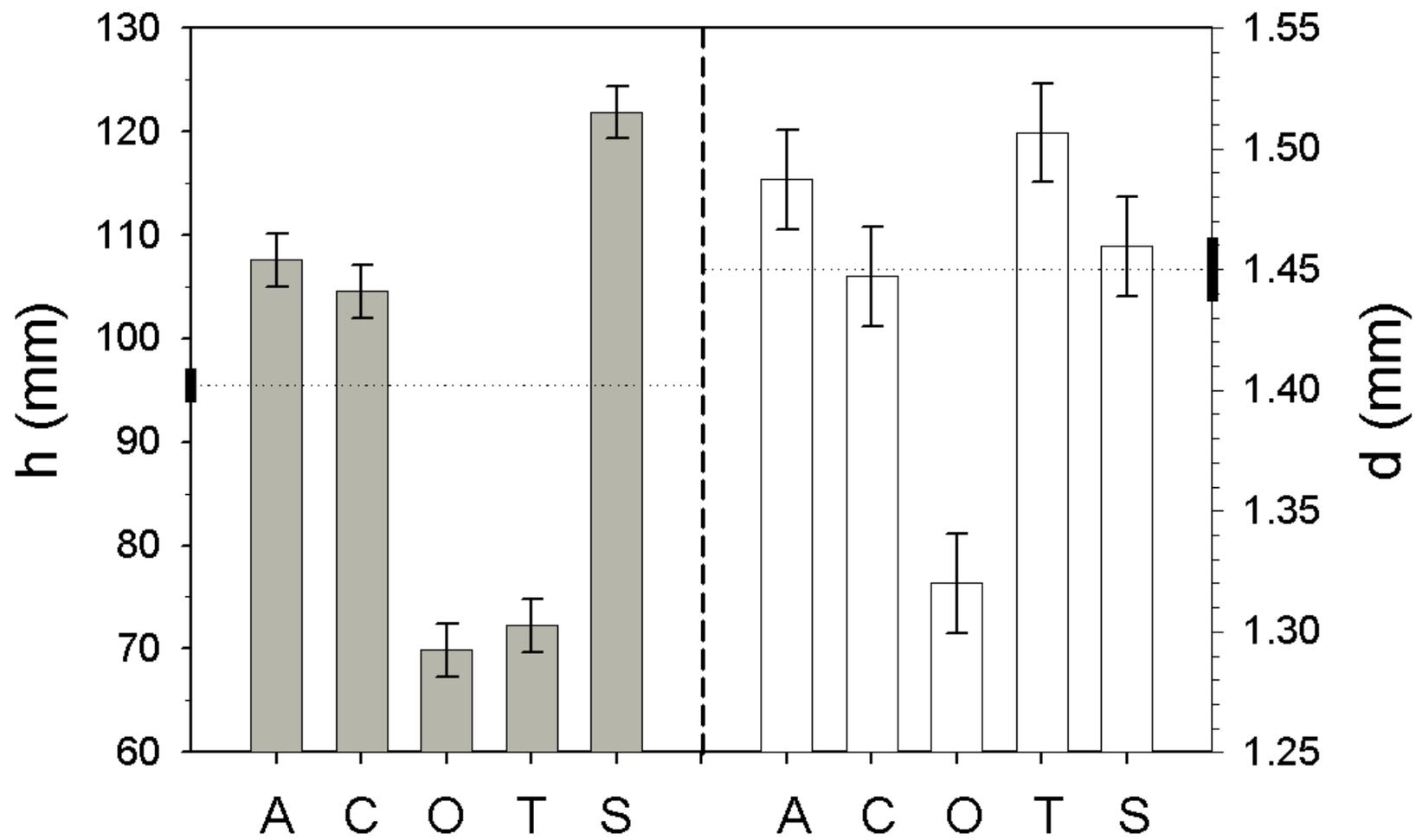
Leaf area / xylem area



Rooting system







Plasticidad frente a sequía (fisiología, morfología, WUE)

Pinus pinaster, E. procedencias/progenies en condiciones controladas

