

¿Cómo la mejora genética puede ayudarnos con los problemas actuales y futuros del sector forestal? Estudio del programa de mejora genética gallego para *Pinus pinaster*



IDForest Esteban Torres Sánchez

Raquel Díaz Vázquez

Eva Prada Ojea

María Menéndez Gutiérrez

Sergio Frade Castro

Lucía Villar Caamaño

Ricardo Ferradás



CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

1. Conceptos



**Cofinanciado por
la Unión Europea**



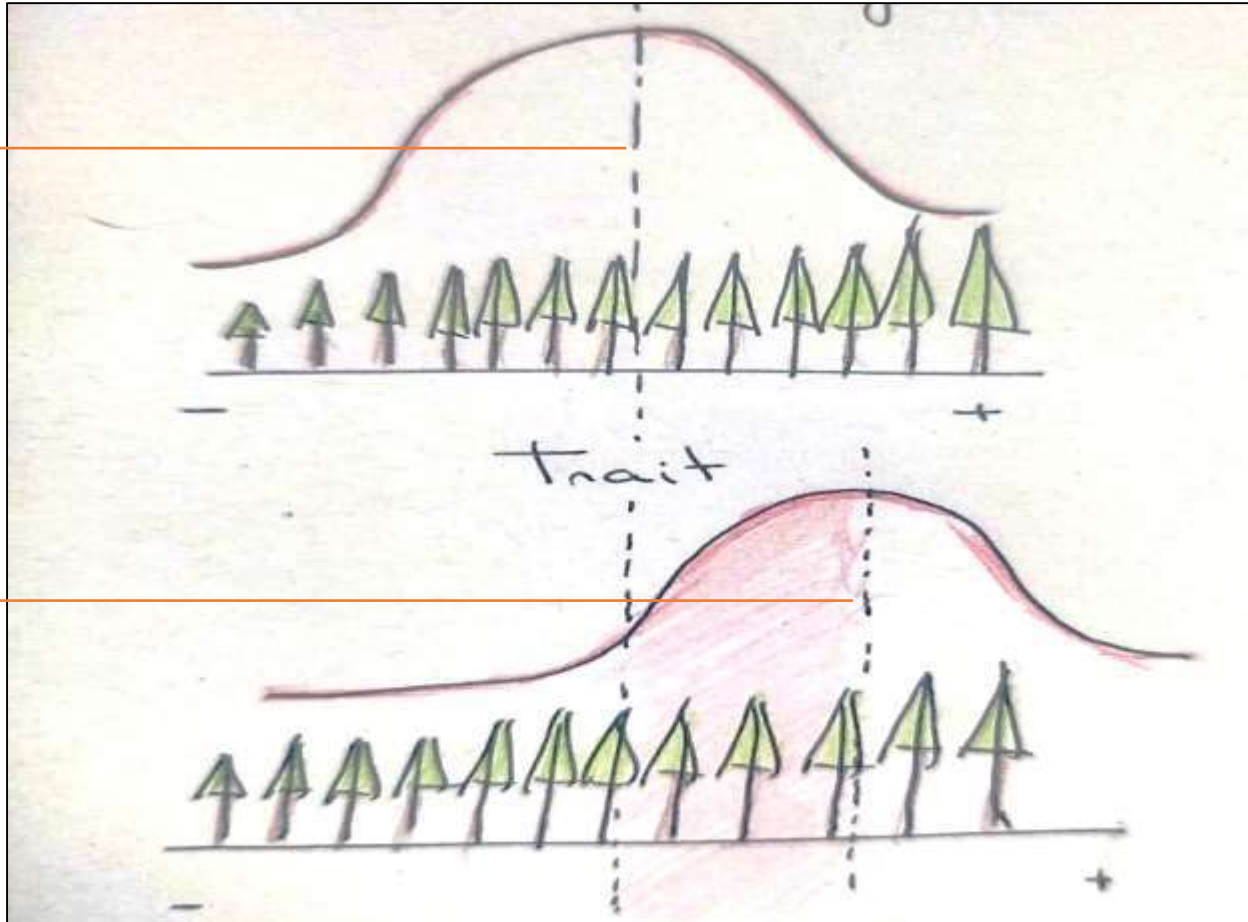
GOBIERNO
DE ESPAÑA



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Programas de mejora genética para especies forestales

Valor promedio inicial



Árboles no seleccionados
Población base

Selección

Árboles seleccionados
Población seleccionada

Nuevo valor promedio

Ganancia genética



Cofinanciado por
la Unión Europea



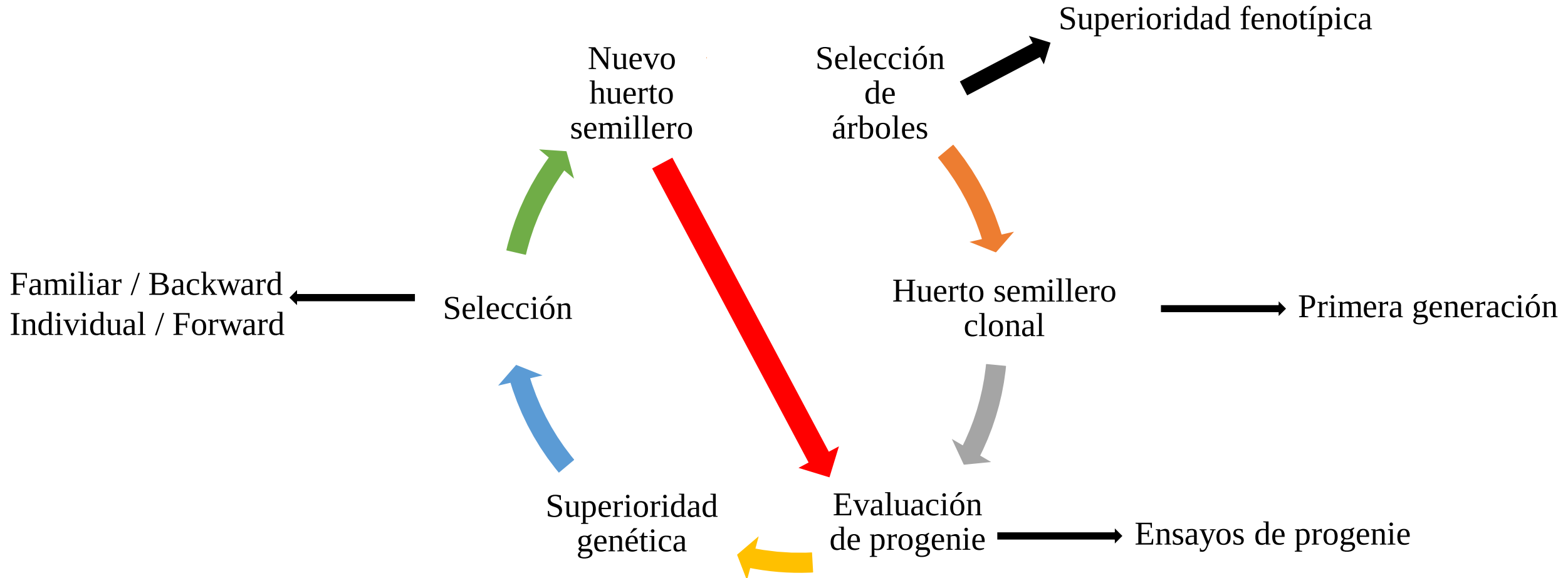
GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural



Mejoramiento por multiples variables

- Variables de interés == Criterios de selección
- Parámetros genéticos
- Relación entre todos los criterios de selección

¿Rectitud?

¿Módulo de selección?

¿Resistencia a enfermedades?

¿Crecimiento?



Cofina
la Unión

GOBIERNO
DE ESPAÑA



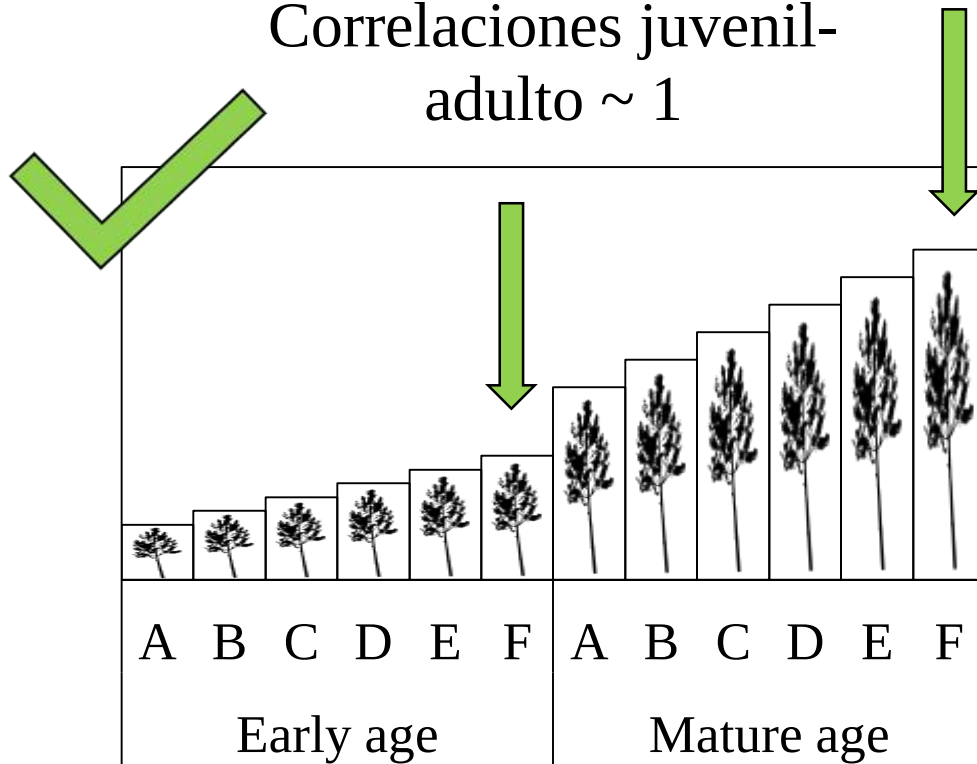
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial
de Ingenieros Forestales y
de Ingenieros Forestal y

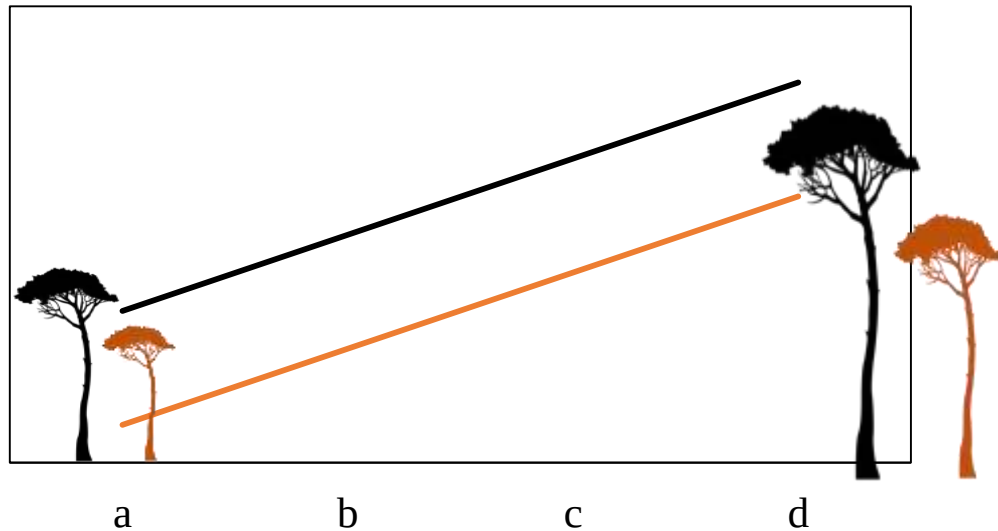
Selección temprana

Correlaciones juvenil-
adulto ~ 1

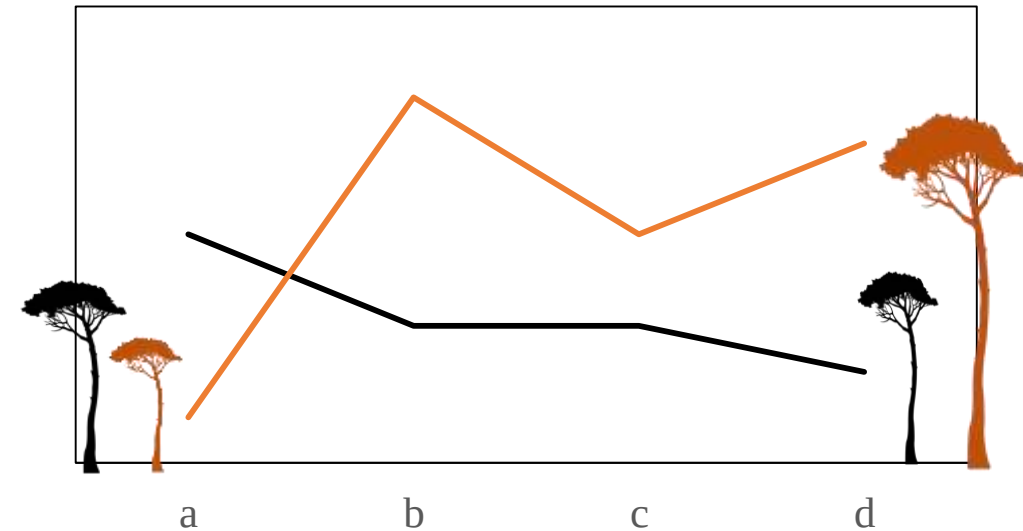


¡AHORRO DE TIEMPO!

Interacción genotipo – ambiente (GxE)



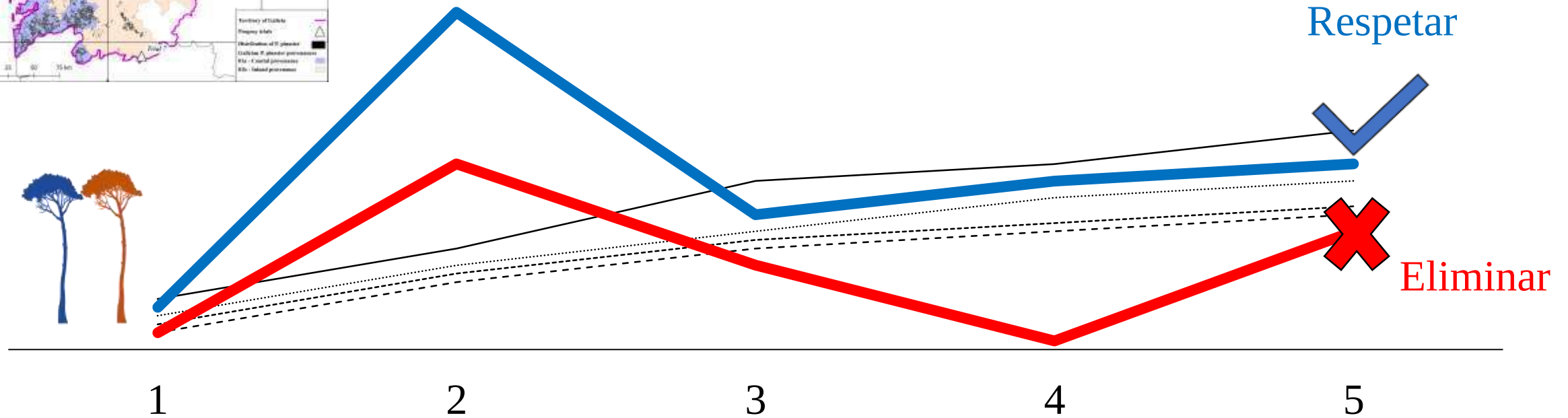
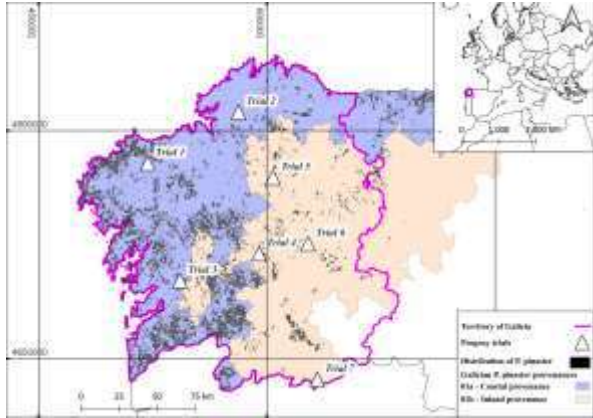
No hay GxE



Si hay GxE

Zonificar

¿Solución a GxE?



Índice de selección

$$IS_f = W_1 \cdot BV_{1f} + W_2 \cdot BV_{2f} + W_3 \cdot BV_{3f} + \cdots + W_i \cdot BV_{if}$$

IS_f = Valor de selección del genotipo / familia “f”

W_i = Importancia relativa para la variable “i”

BV_{if} = Valor de mejora (“Breeding value”) del genotipo / familia “f” para la variable “i”



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

2. *Pinus pinaster* Aiton y el sector forestal gallego



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



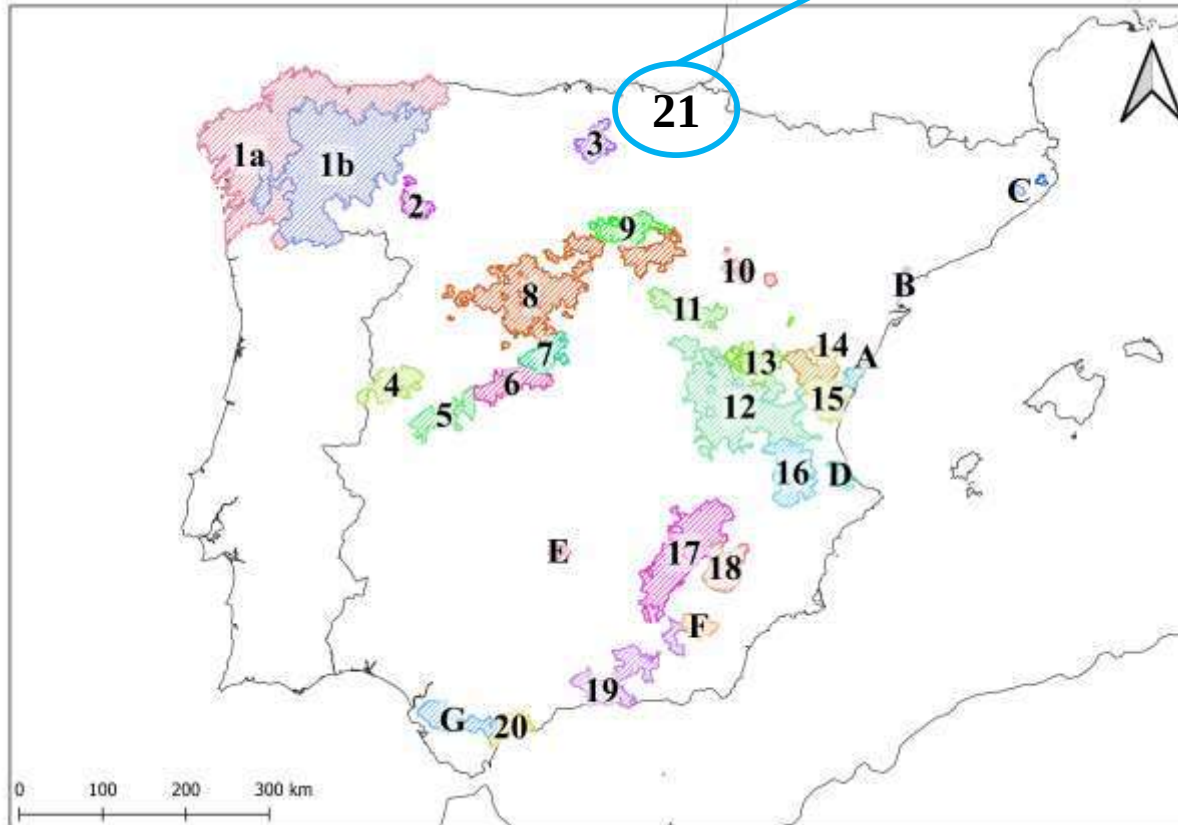
Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Pinus pinaster Aiton en España

29 procedencias españolas

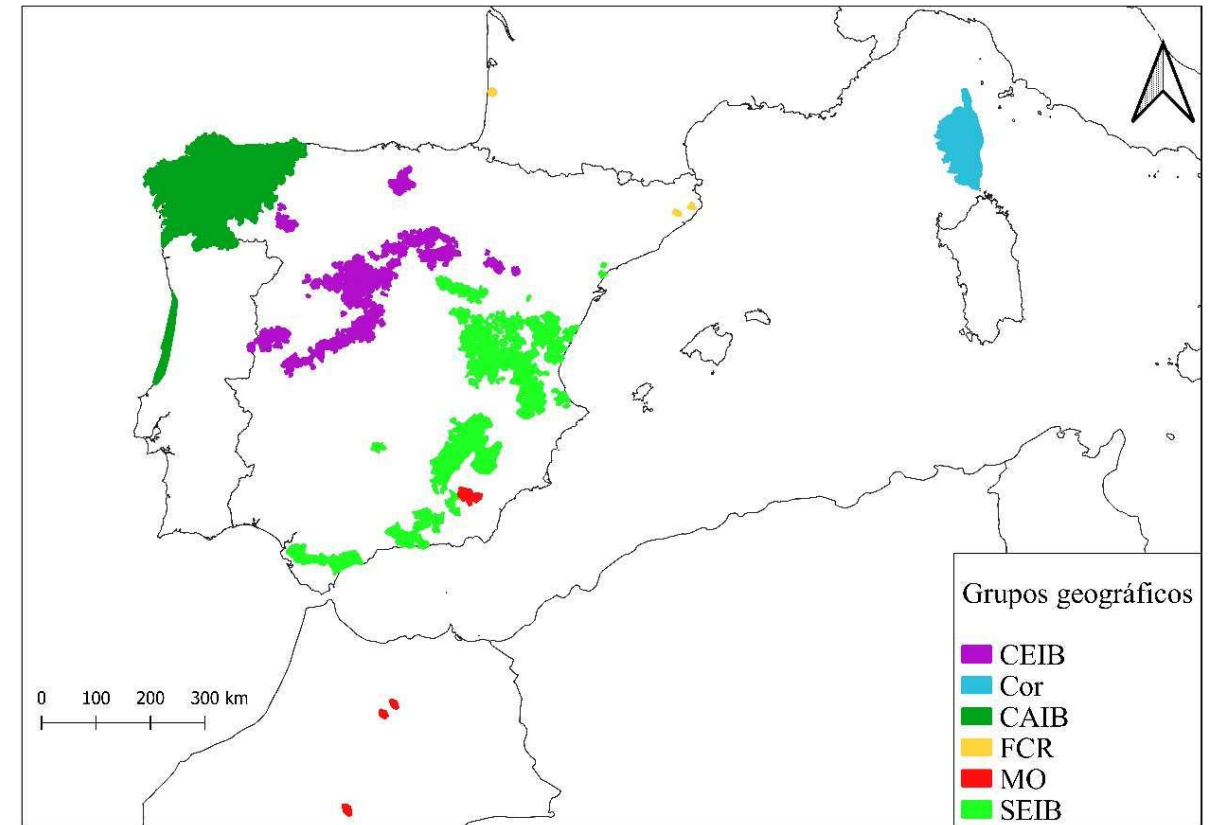
(Alía et al. 1996, 2009)

Añadida en 2024



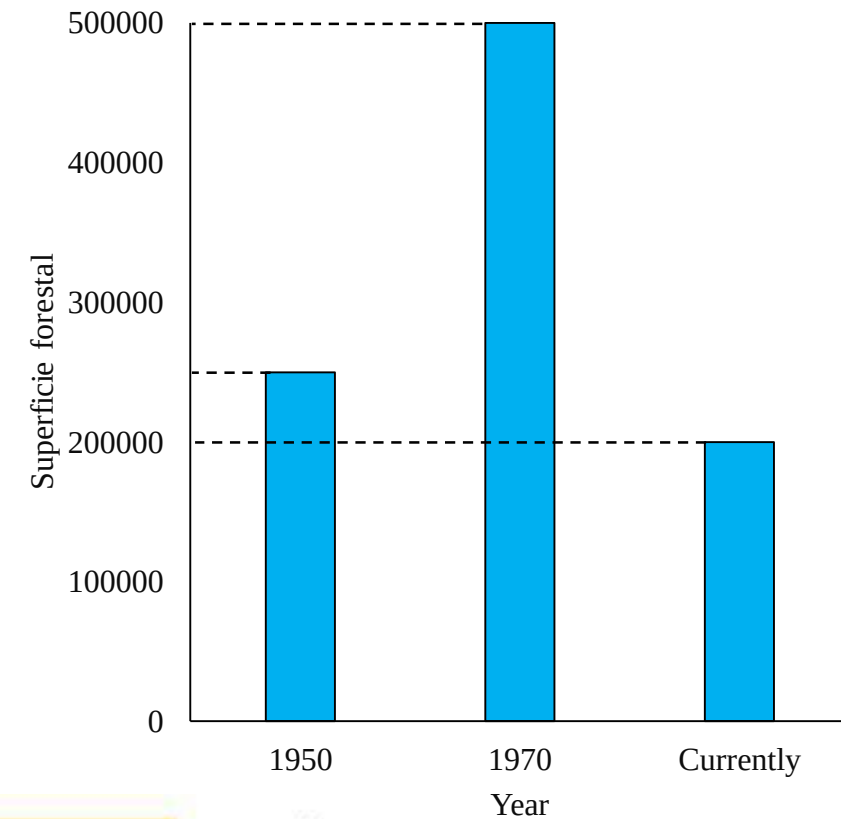
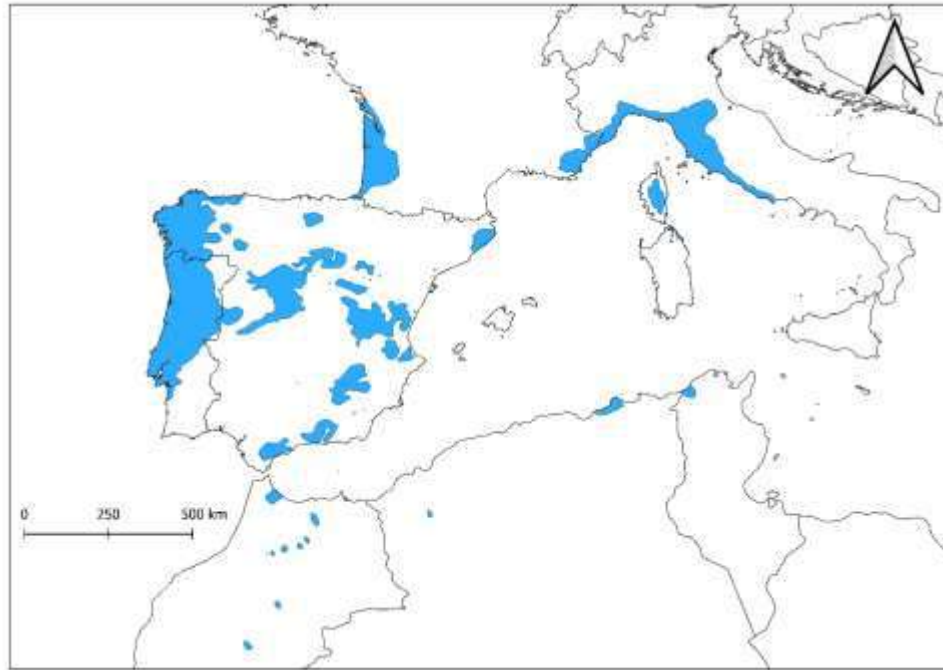
6 grandes grupos geográficos

(Jaramillo-Correa et al. 2015; Bucci et al. 2007)



Pinus pinaster Aiton en Galicia

Turno de corta en Galicia: 25 – 45 años



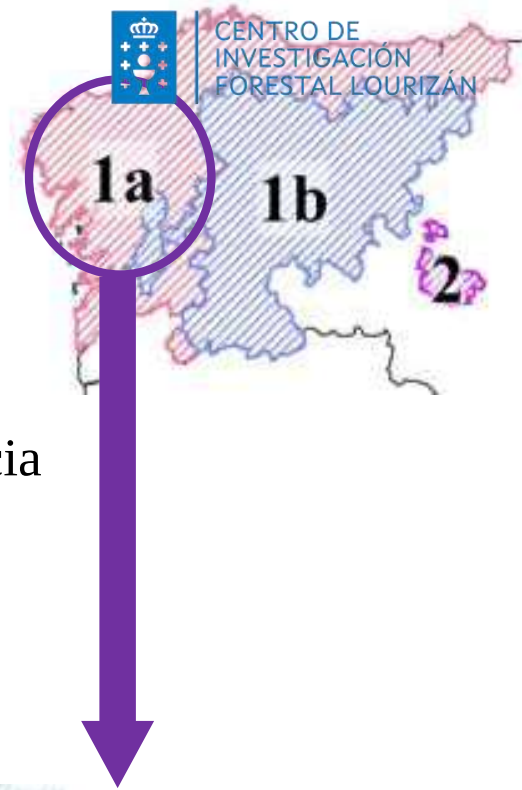
Pinus pinaster Aiton: Procedencia gallega costera (1a)

Superioridad respecto a otras procedencias:

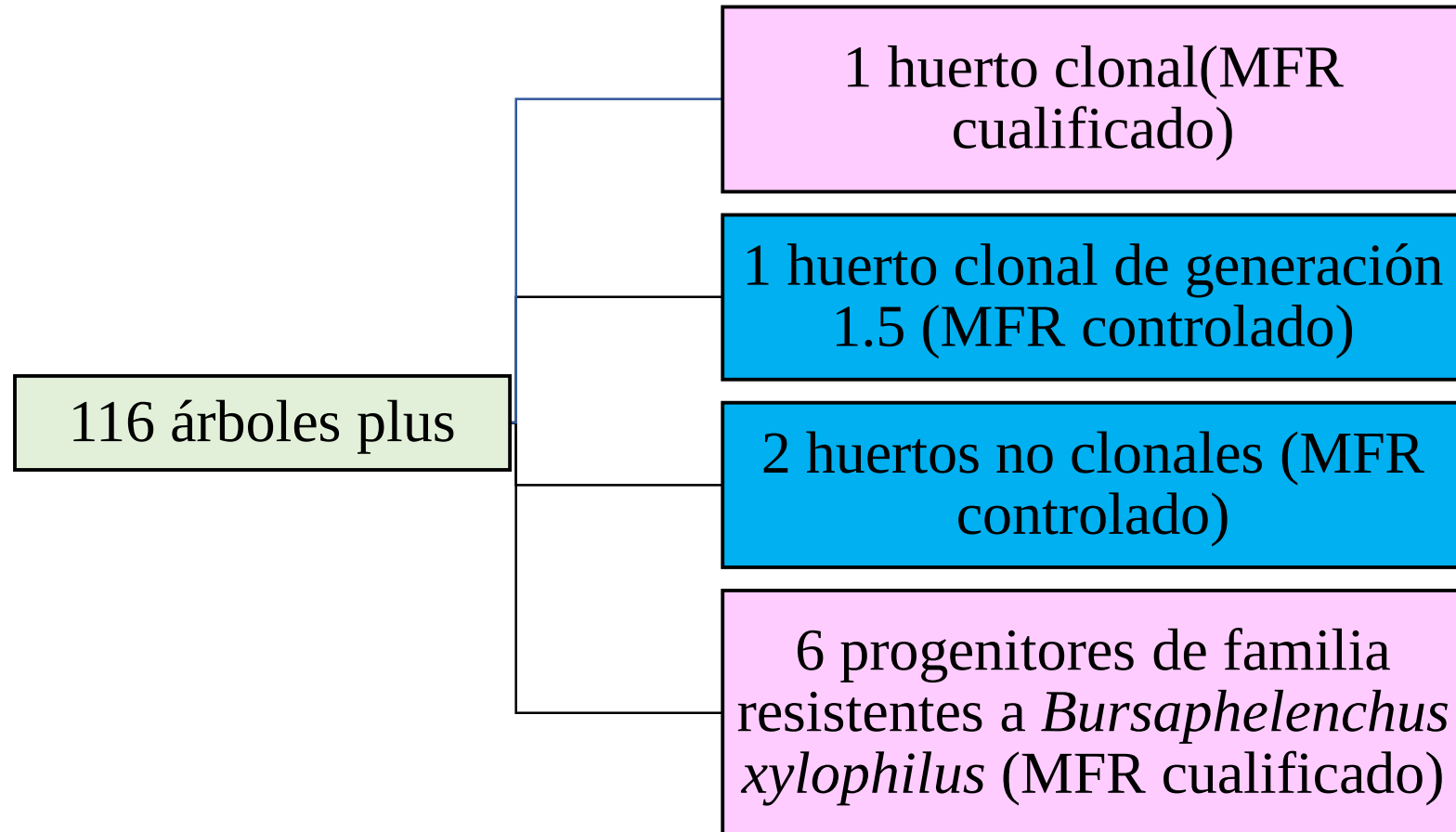
- Crecimiento
- Rectitud

Variación familiar dentro de la procedencia

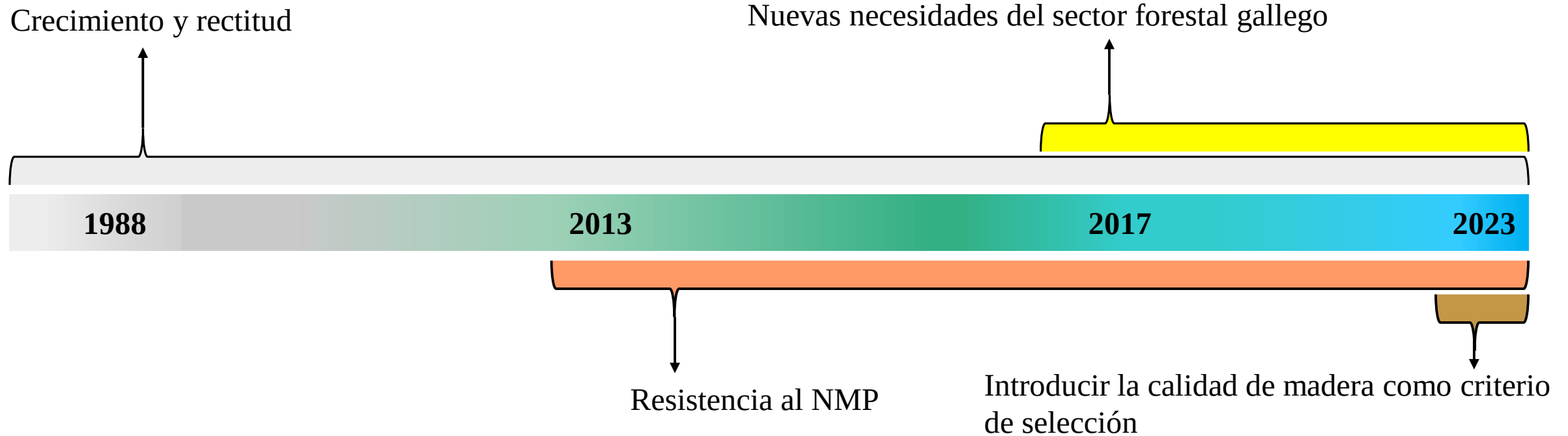
- Crecimiento
- Rectitud
- Tolerancia a la sequía
- Resistencia a enfermedades



El programa de mejora genética gallego para *P. pinaster*



Líneas de investigación de interés para el sector forestal gallego





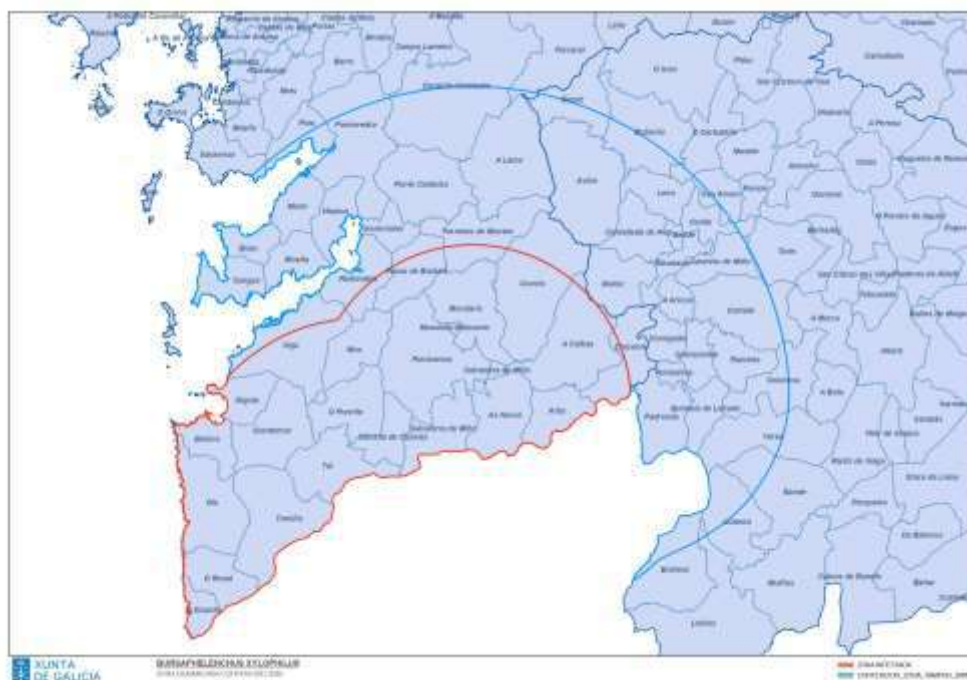
FORESTA
VALLADOLID2026

BIODIVERSIDAD Y MEJORA GENÉTICA VEGETAL



**CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN**

Bursaphelenchus xylophilus en Galicia



**Cofinanciado por
la Unión Europea**



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**



**MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN**



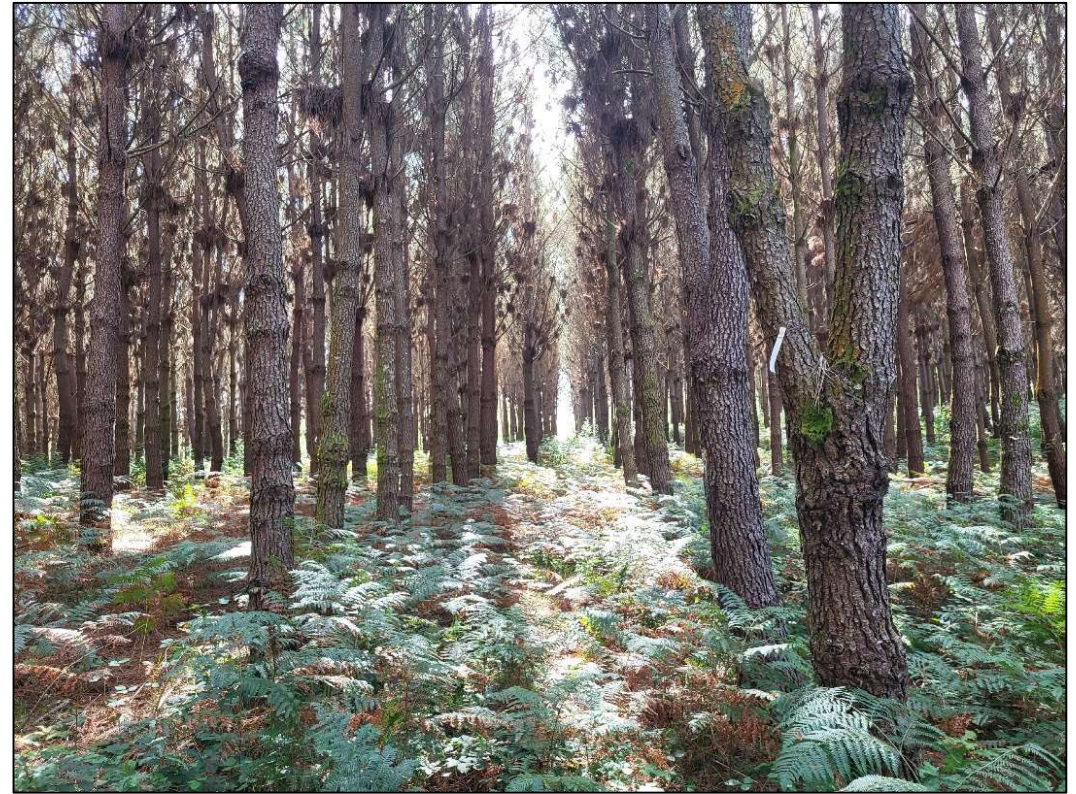
**Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural**

Propiedades de calidad de madera

Encuentro con el sector forestal gallego

Propiedades de la madera => Uso estructural

Uso estructural => mayor valor añadido



3. Encuesta 2023 e índice de selección para avanzar a un huerto semillero de siguiente generación



Cofinanciado por
la Unión Europea

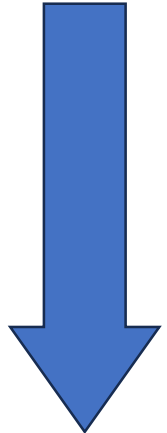


GOBIERNO
DE ESPAÑA



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Variables más interesantes según encuesta



Mejora de la rectitud del fuste
Mejora del volumen / crecimiento
Resistencia al NMP
Módulo de elasticidad

- ¿Qué priorizamos?
 - Rectitud
 - Volumen
 - Resistencia al NMP
 - Módulo de elasticidad



Posibles escenarios de selección



**Cofinanciado por
la Unión Europea**



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Selección en base a un criterio

Volumen

Módulo de elasticidad

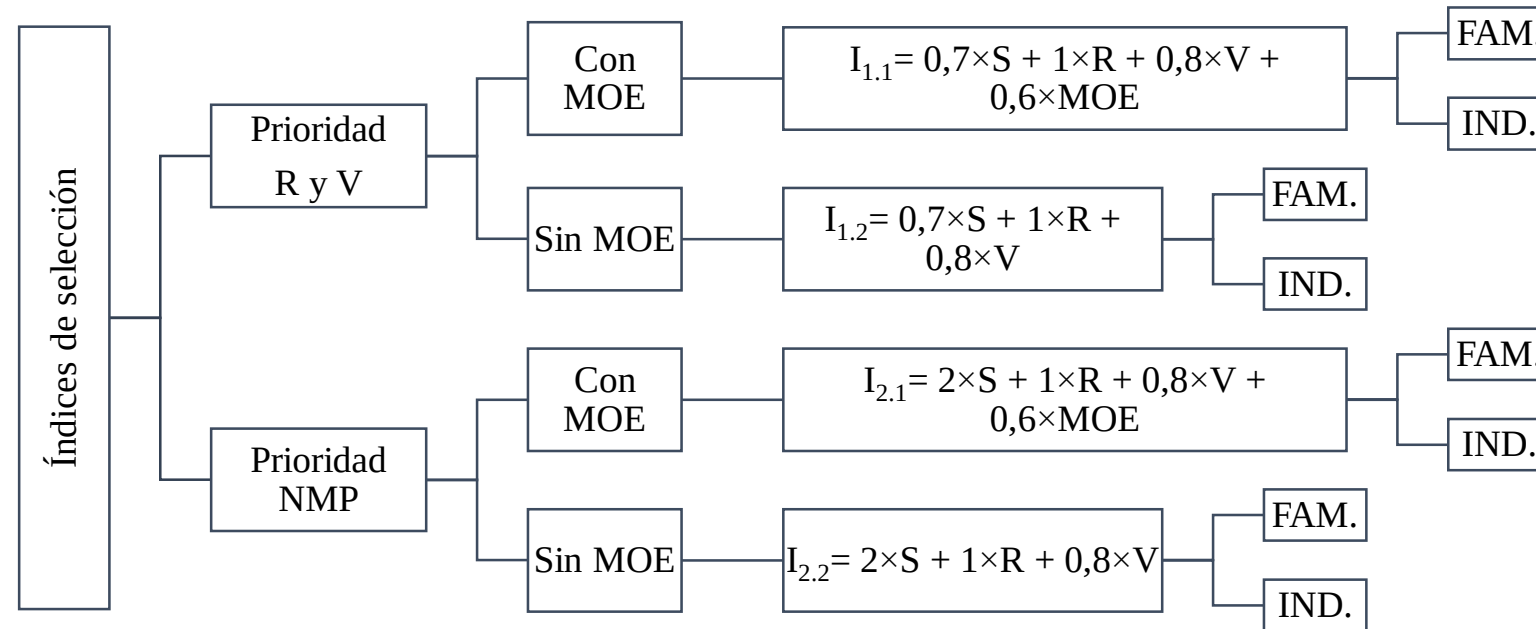
Densidad básica



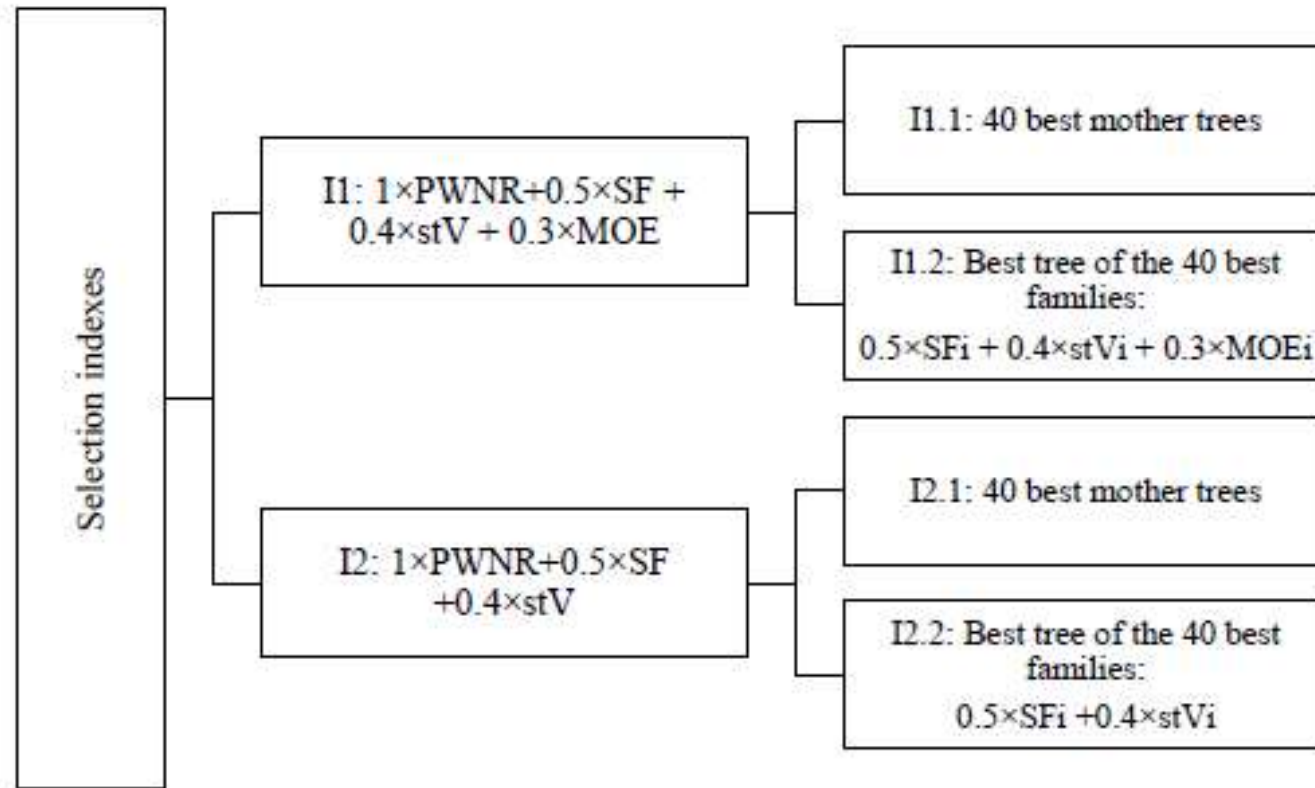
Otras variables
morfológicas

Respuesta correlacionada

Selección multicriterio

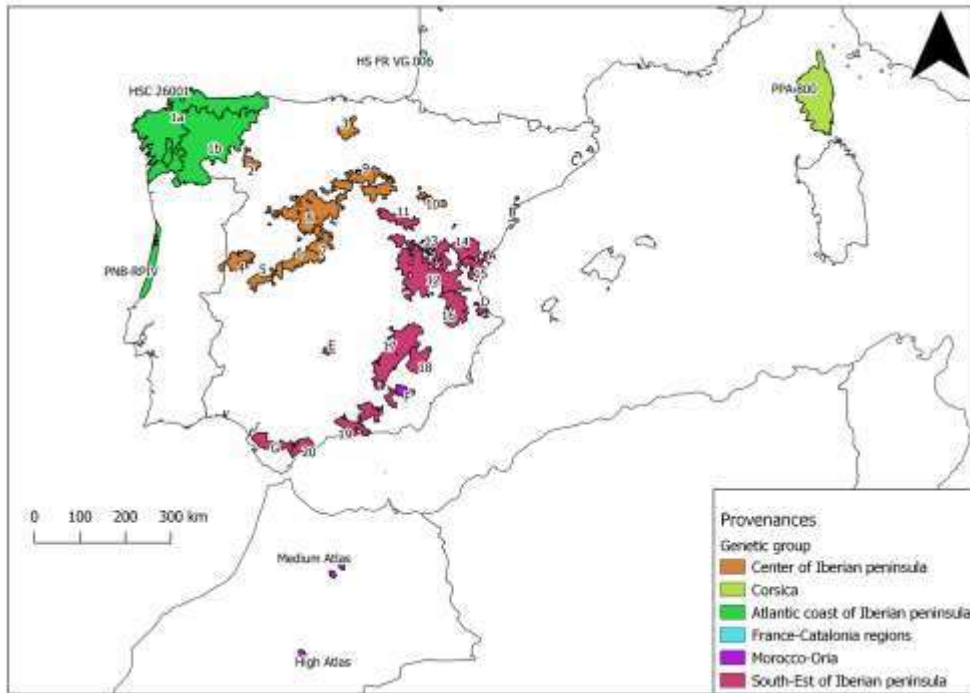


Selección multicriterio



Resistencia al NMP

¿Cruces controlados con otras poblaciones?



Resistencia poblacional frente al nematodo de la madera del pino



Cofinanciado por
la Unión Europea



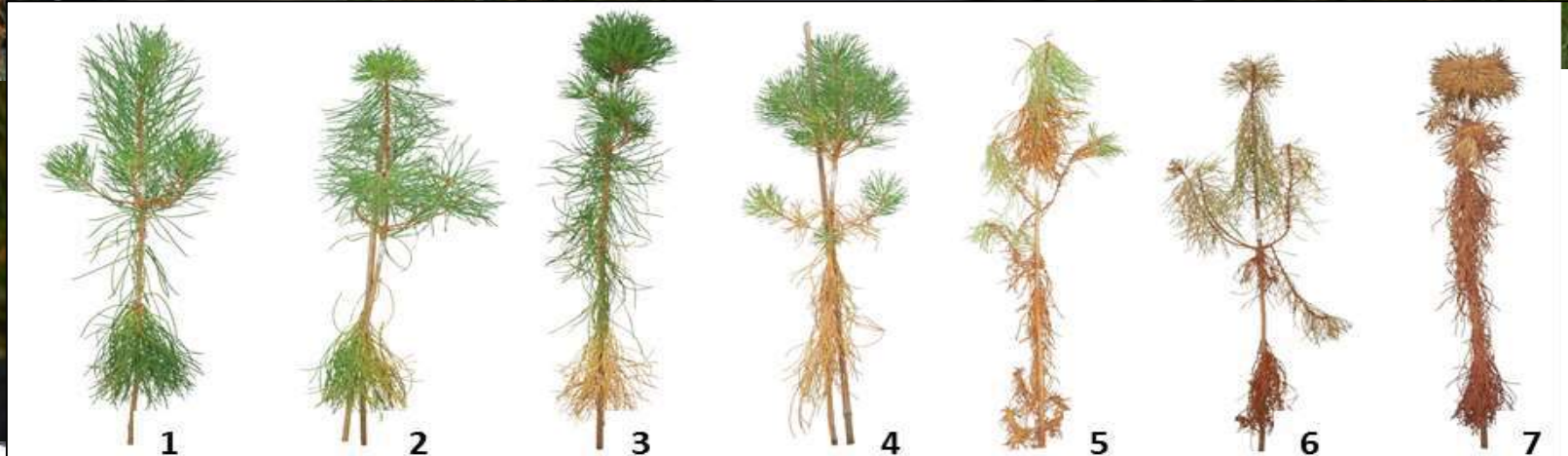
GOBIERNO
DE ESPAÑA

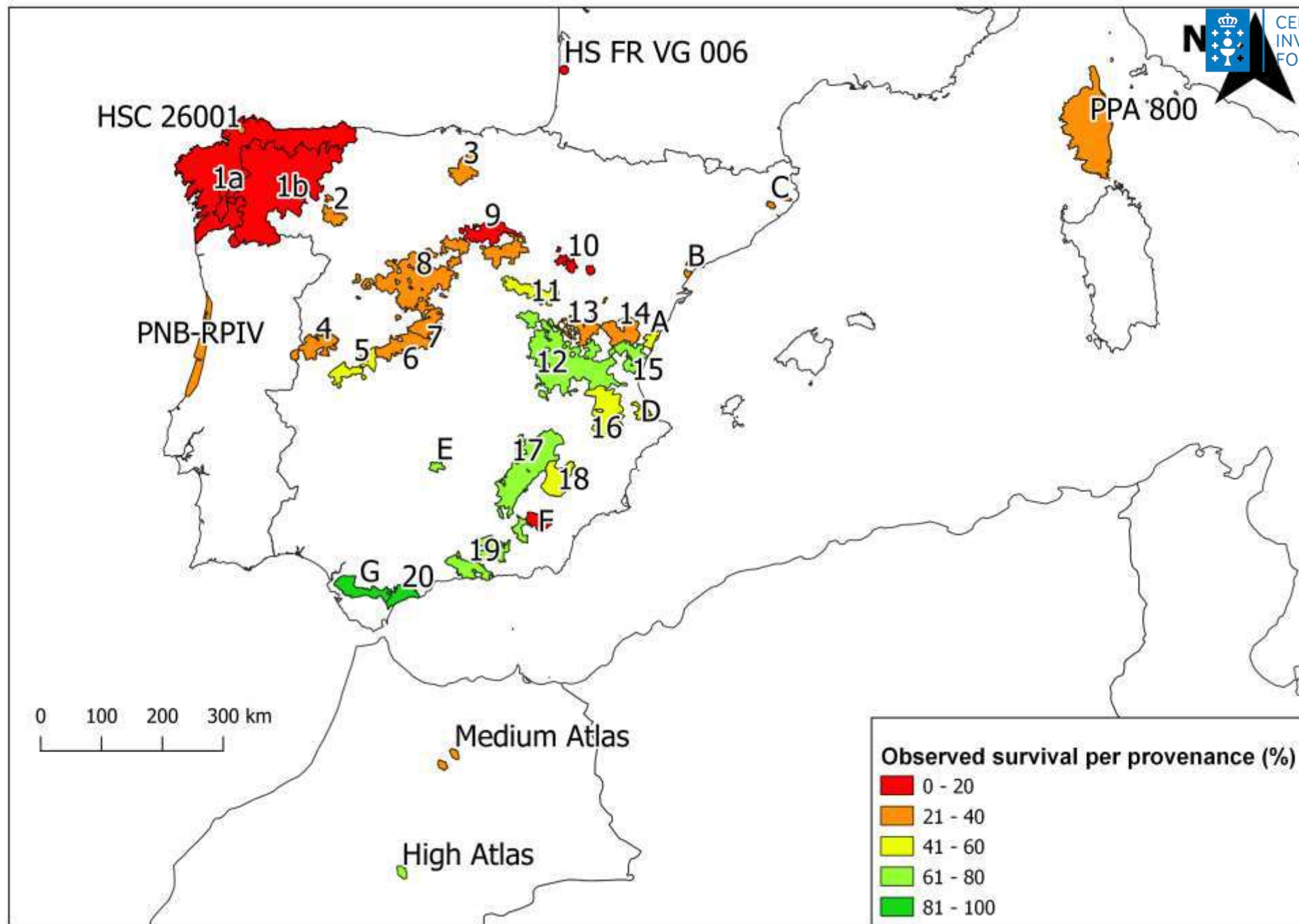


MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



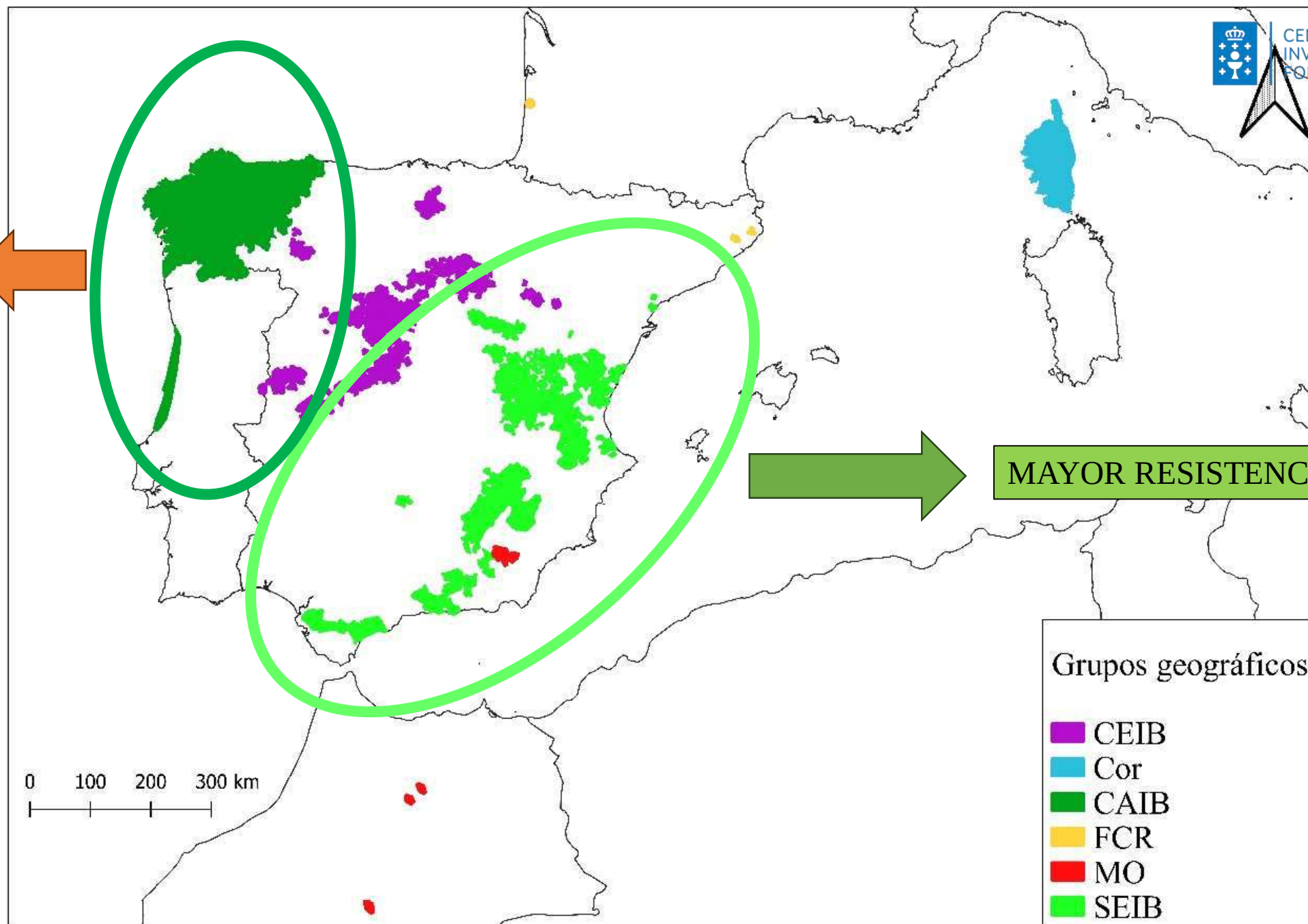
Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural







MENOR
RESISTENCIA
AL NMP



MAYOR RESISTENCIA AL NMP

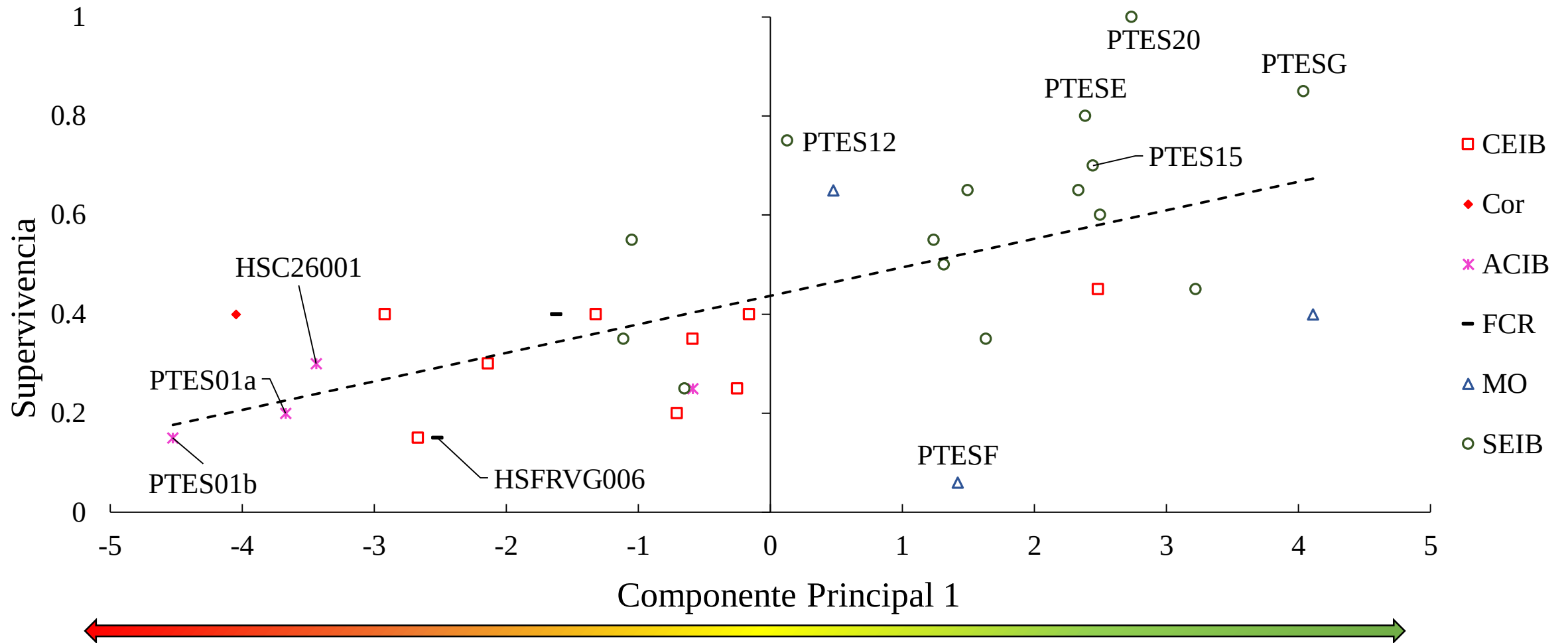
Grupos geográficos

- CEIB
- Cor
- CAIB
- FCR
- MO
- SEIB

Patrón geo-climático



CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN



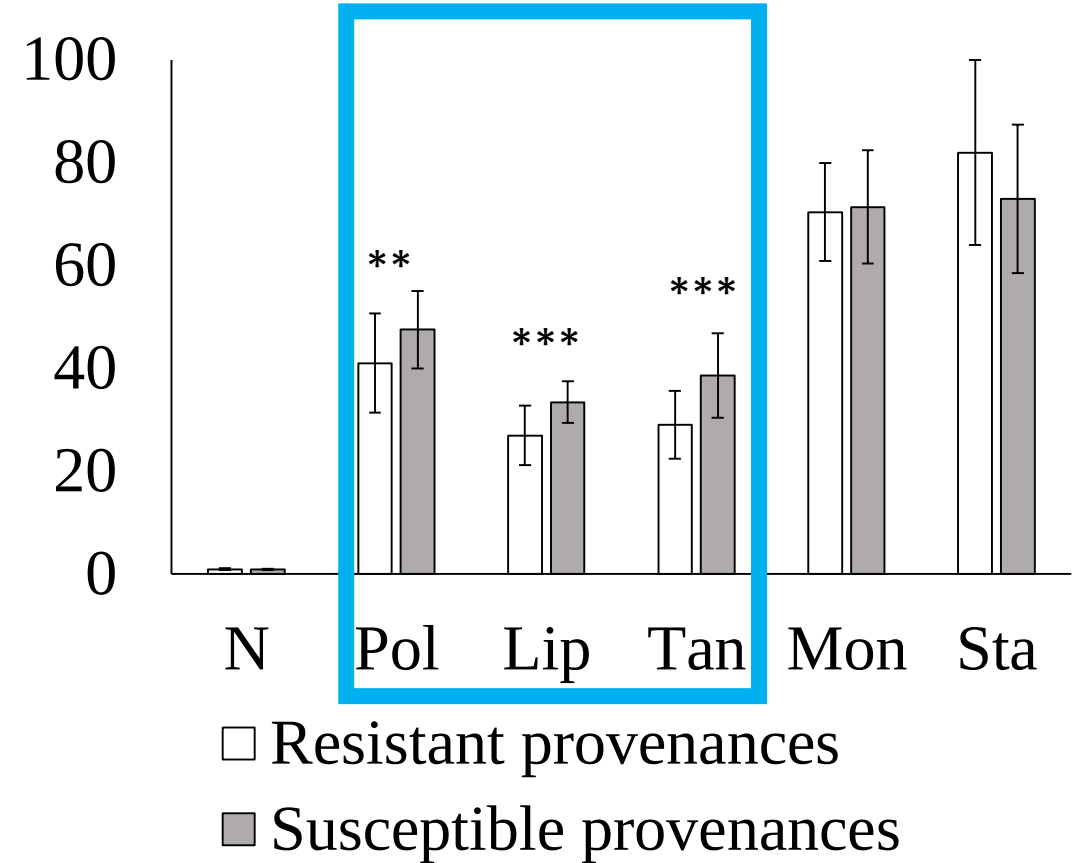
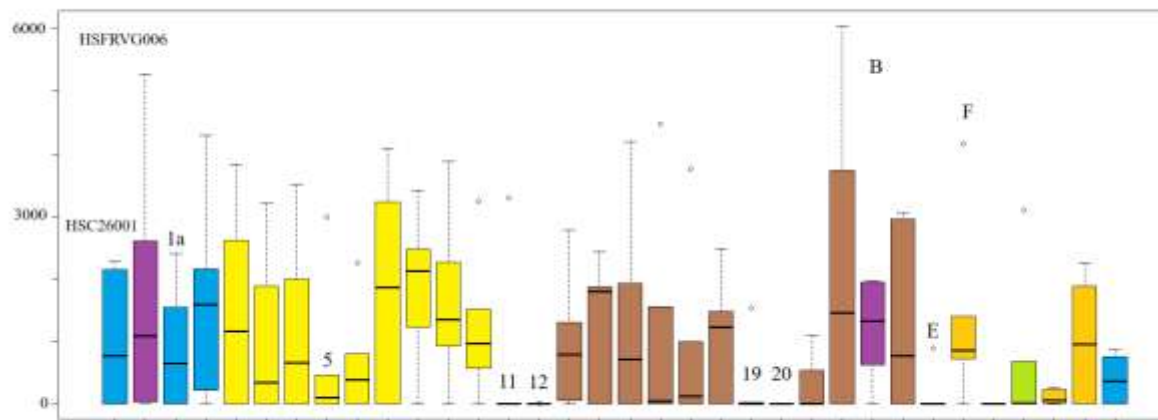
Latitud	▼	Temperatura máxima del mes más cálido	▲	
Índice de Martonne	▼	Temperatura media mínima de agosto	▲	Precipitación anual
Índice de Rivas - Martínez	▲	Temperatura media anual	▲	
		Temperatura media del trimestre más cálido	▲	Precipitación en Junio

Otros resultados

Poblaciones con mayor crecimiento en invernadero



Mayor susceptibilidad



Propiedades de calidad de madera



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Propiedades de calidad de madera



CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN

Densidad básica de la madera



1. Alta variabilidad familiar
2. No hay interacción GxE
3. Heredabilidades moderadas – altas

a. $h_i^2 = 0,24-0,44$

b. $h_f^2 = 0,65-0,87$

Módulo de elasticidad dinámico



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA

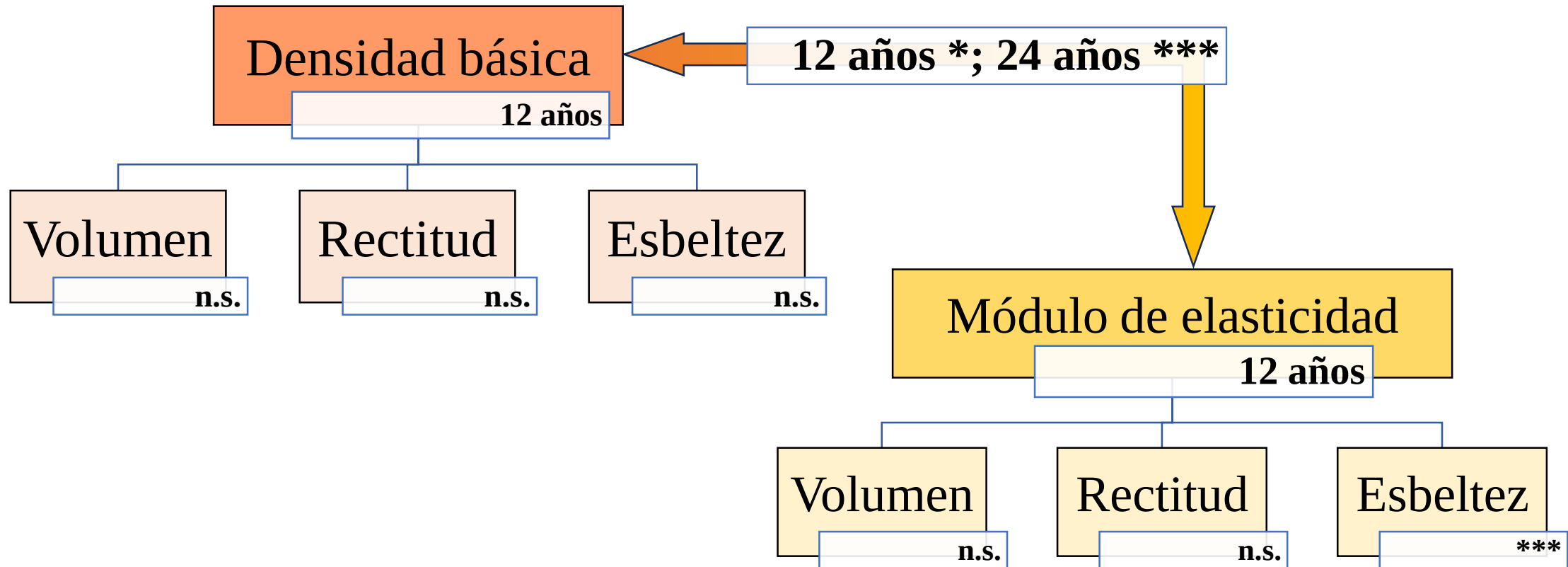


MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Correlaciones entre caracteres



Edad de selección temprana en base a las propiedades de la madera y al volumen



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



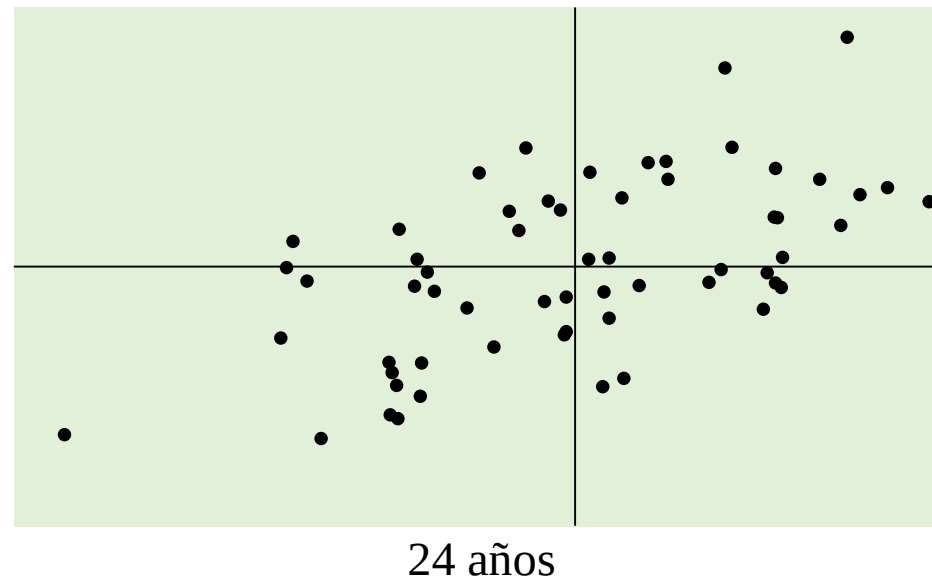
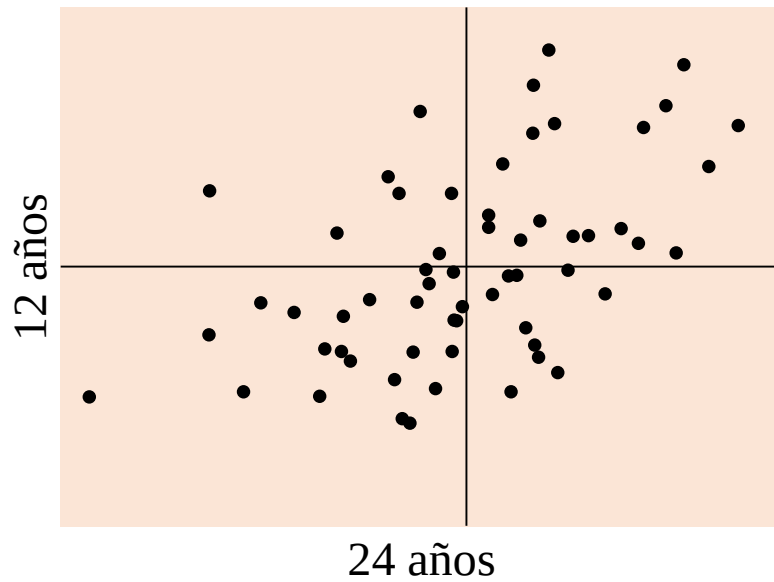
Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

¿Selección temprana?

Densidad básica; 0.51 ***

Módulo de elasticidad; 0.57 ***

Volumen



Edad	12
17	0.85***

Cada punto negro
es una familia

Relación entre variables morfológicas, resistencia a *Bursaphelenchus xylophilus* y las propiedades de calidad de madera



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

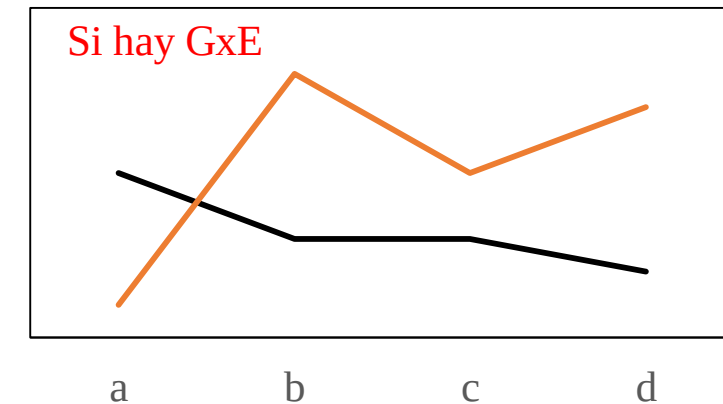
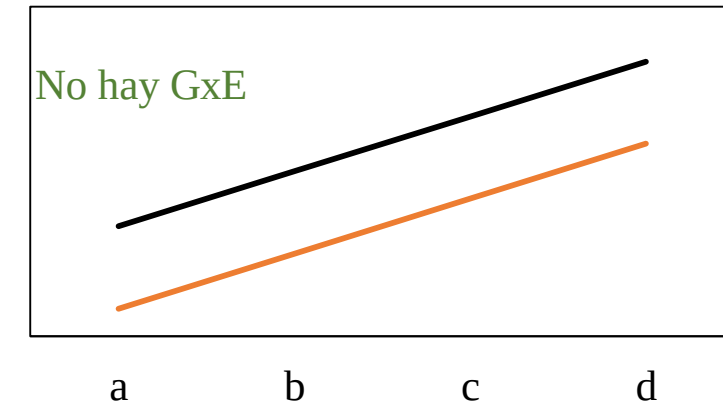
Parámetros genéticos

Altas heredabilidades familiares

Bajas – moderadas – altas heredabilidades individuales

Interacción GxE

Volumen (12 años)	✗
Rectitud (12 años)	✓
Longitud entre nudos (12 años)	✗
Ángulo de ramas (12 años)	✓
Módulo de elasticidad (12 años)	✓
Densidad básica (12 años)	✓
Supervivencia al NMP (2 años)	
Síntomas al NMP (2 años)	



Correlaciones genéticas

	Volumen	Rectitud	Módulo de elasticidad	Densidad básica
Supervivencia al NMP	0.02	-0.12	0.08	0.12
Sintomas al NMP	-0.11	0.07	-0.06	-0.14

NO HAY CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Efecto de la interacción GxE en el volumen para el desarrollo de un índice de selección



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

¿Cómo lidiamos con GxE en el volumen?

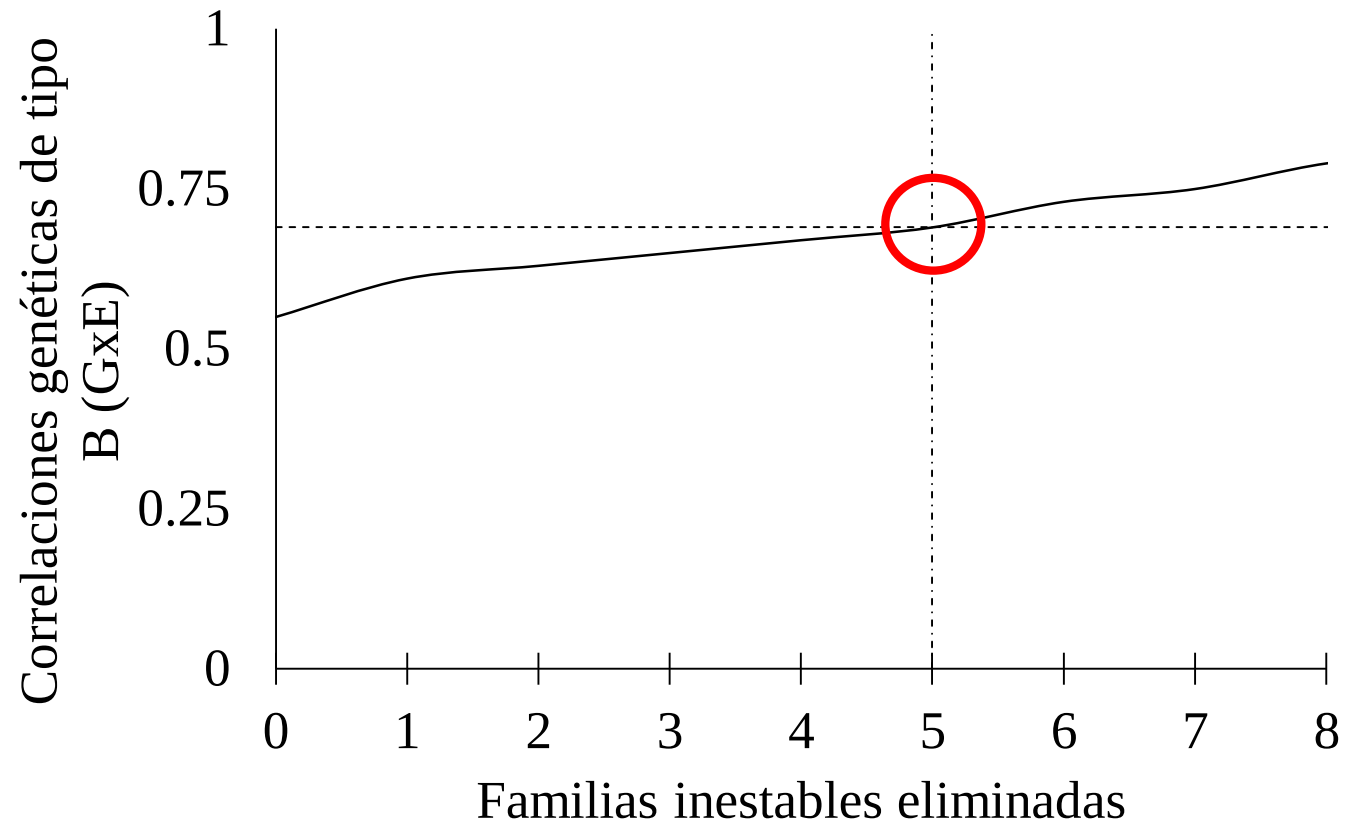
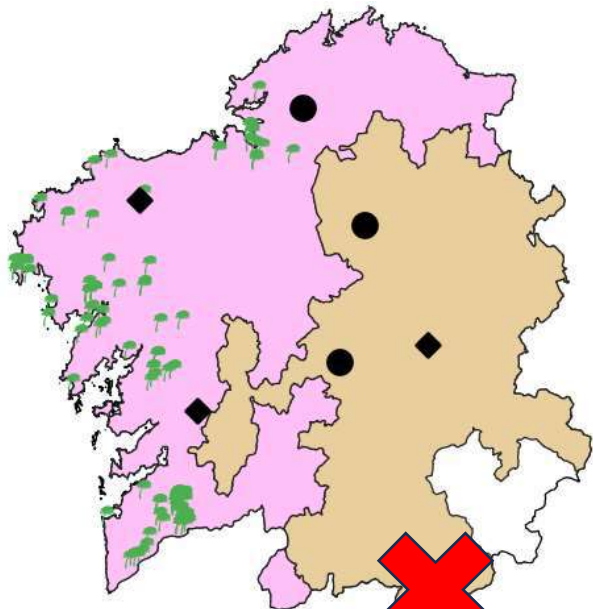


CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN

¿Zonificamos?

¿Eliminamos o respetamos familias?

Variable	rB (se)
V conjunto	0.55 (0.11)
V costa	0.69 (0.07)
V interior	0.59 (0.08)



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

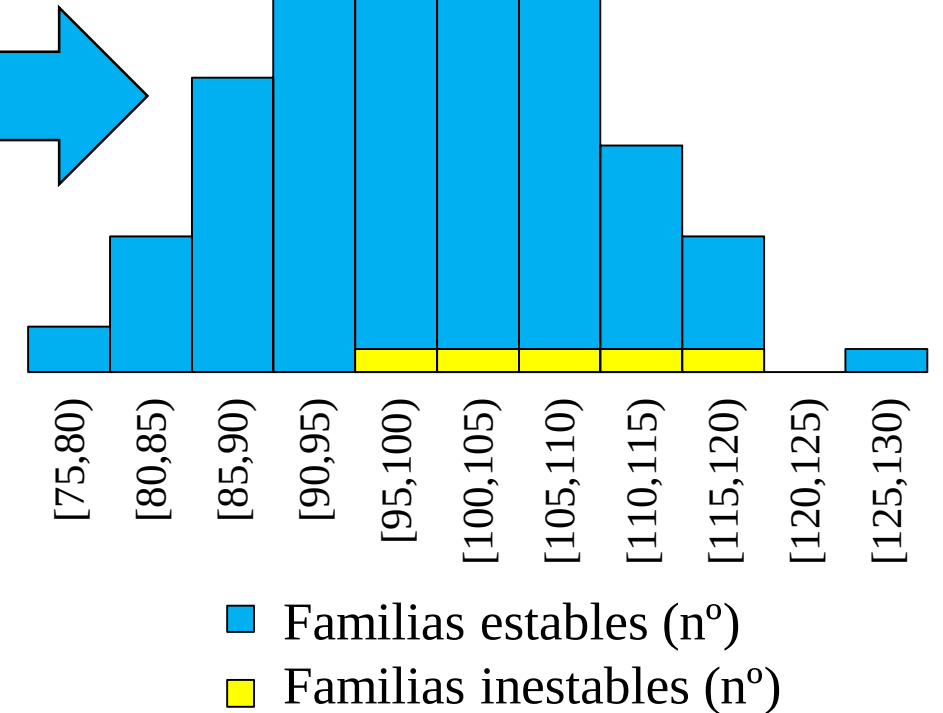
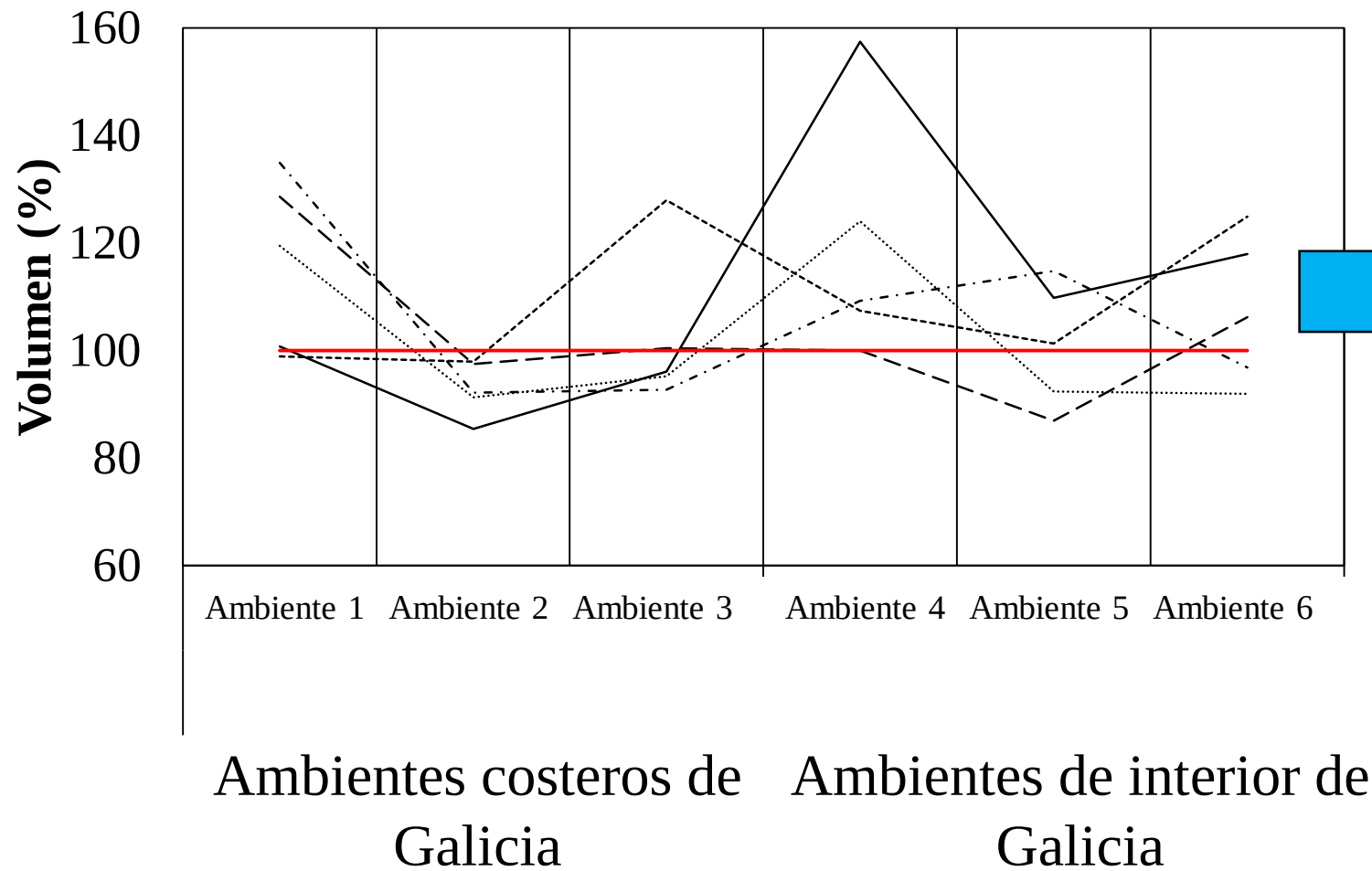


Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Familias inestables para el volumen

Por zonas (costa vs interior)

Promedio general para toda Galicia



Antes de estudiar la selección...

1. Se pueden incluir poblaciones resistentes a *B. xylophilus* dentro del programa
2. Las propiedades de la madera son susceptibles de mejora dentro del programa
3. Edad de 12 años es apta para selección temprana por propiedades de la madera y por volumen
4. No existen correlaciones negativas entre la resistencia a *B. xylophilus* y el resto de los criterios de selección que limiten una selección
5. La interacción genotipo – ambiente en el volumen tampoco supone una limitación en la selección

Necesidades del sector forestal gallego: Selección por un criterio



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN

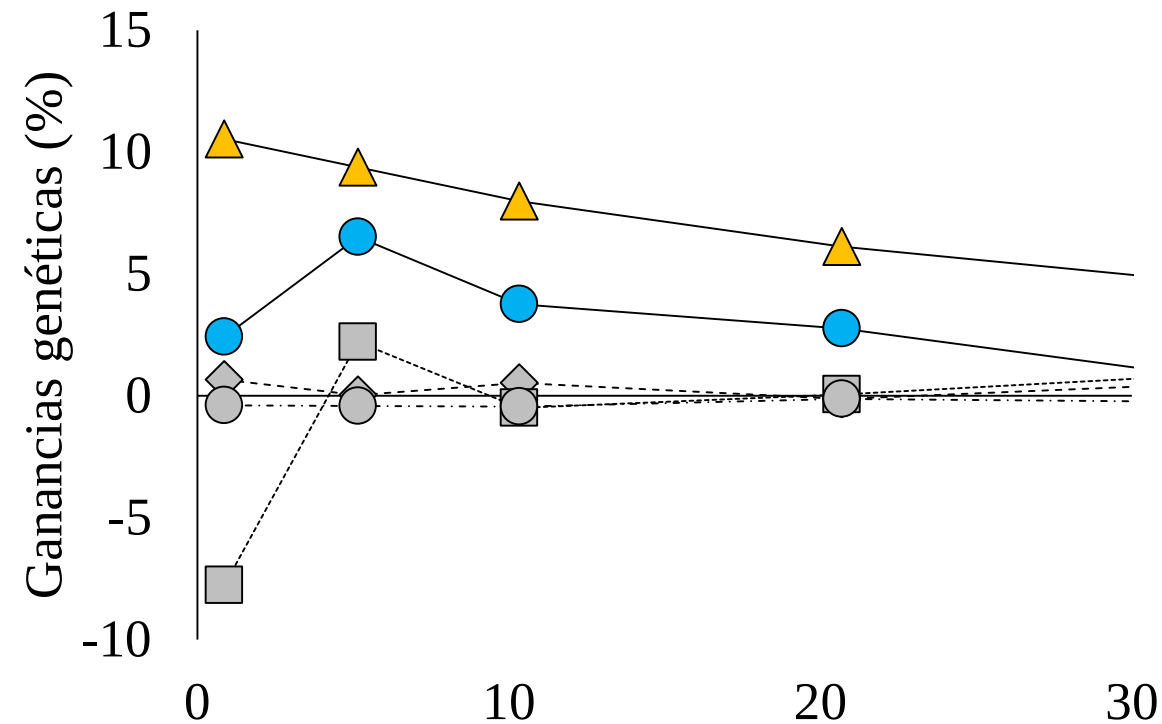


Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

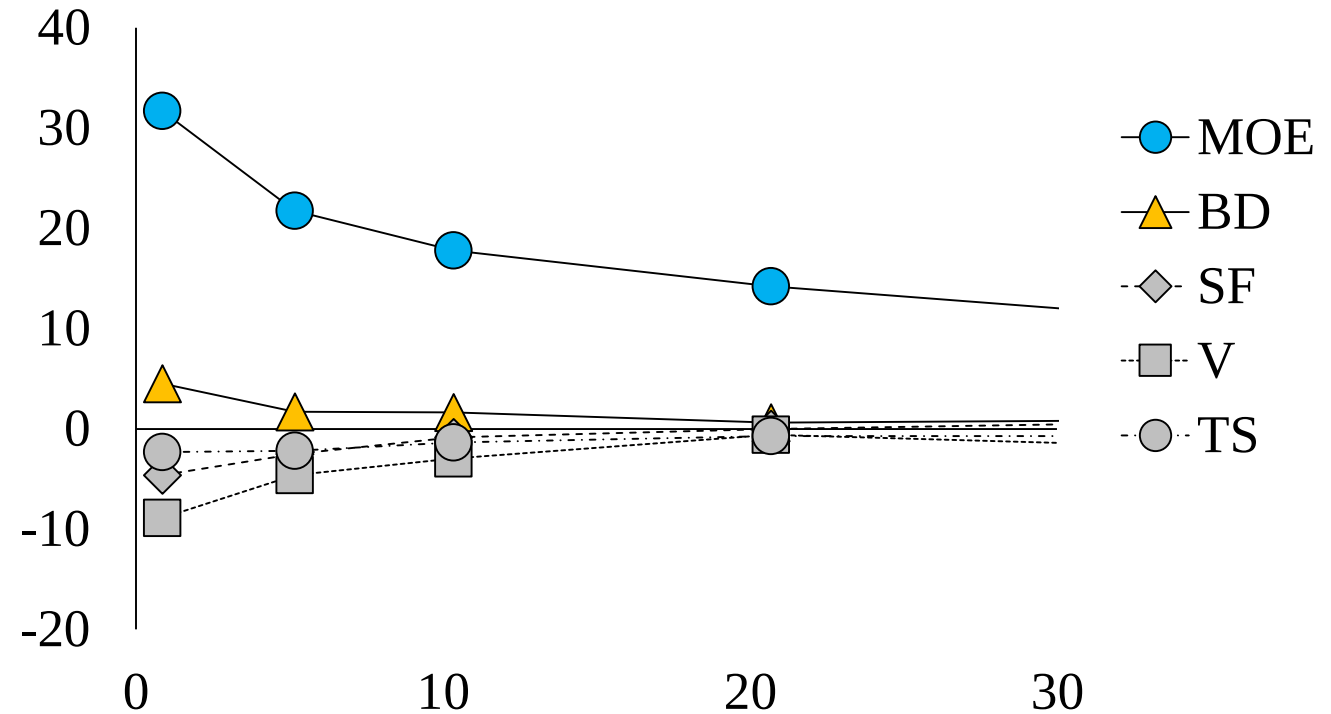
Selección en base a la calidad de la madera

% de familias seleccionadas

Densidad básica



Módulo de elasticidad dinámica



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA

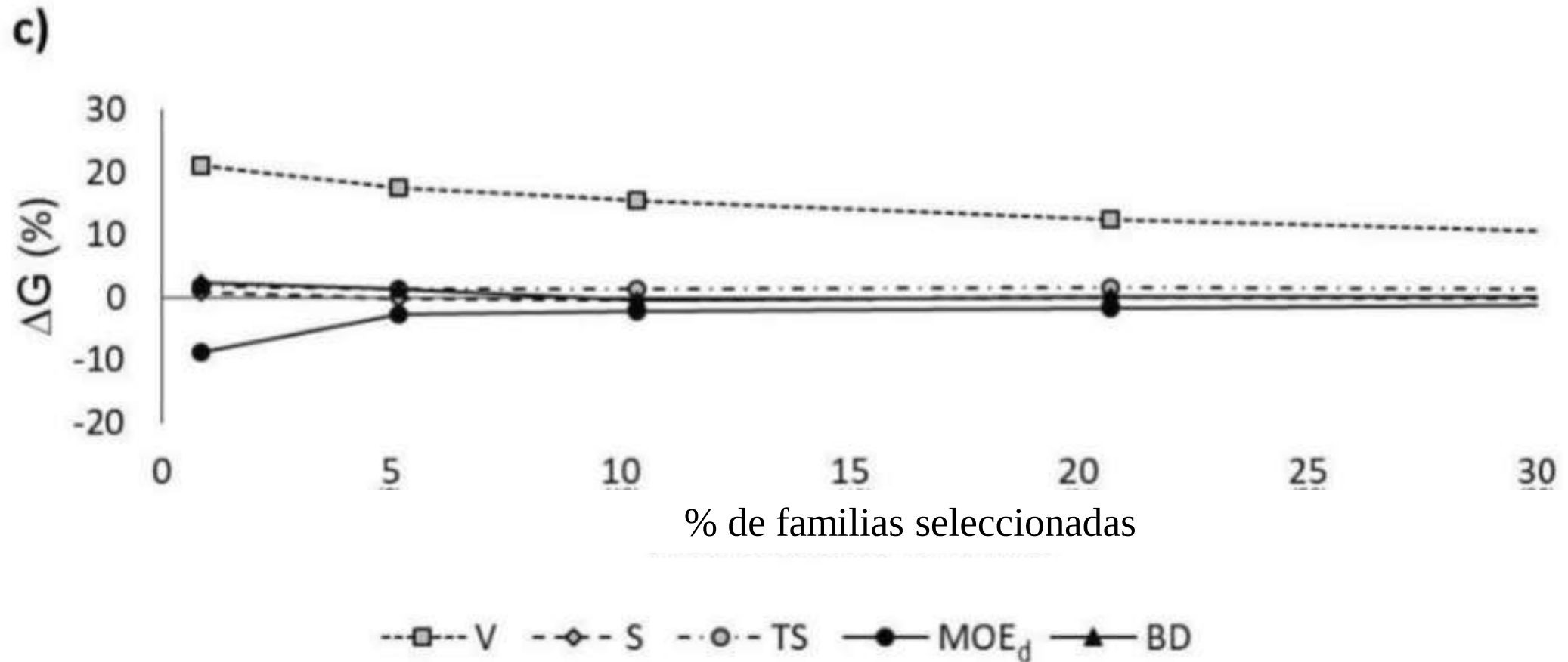


MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Selección en base al volumen



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Instituto Colegial Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Necesidades del sector forestal gallego: Selección multicriterio



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



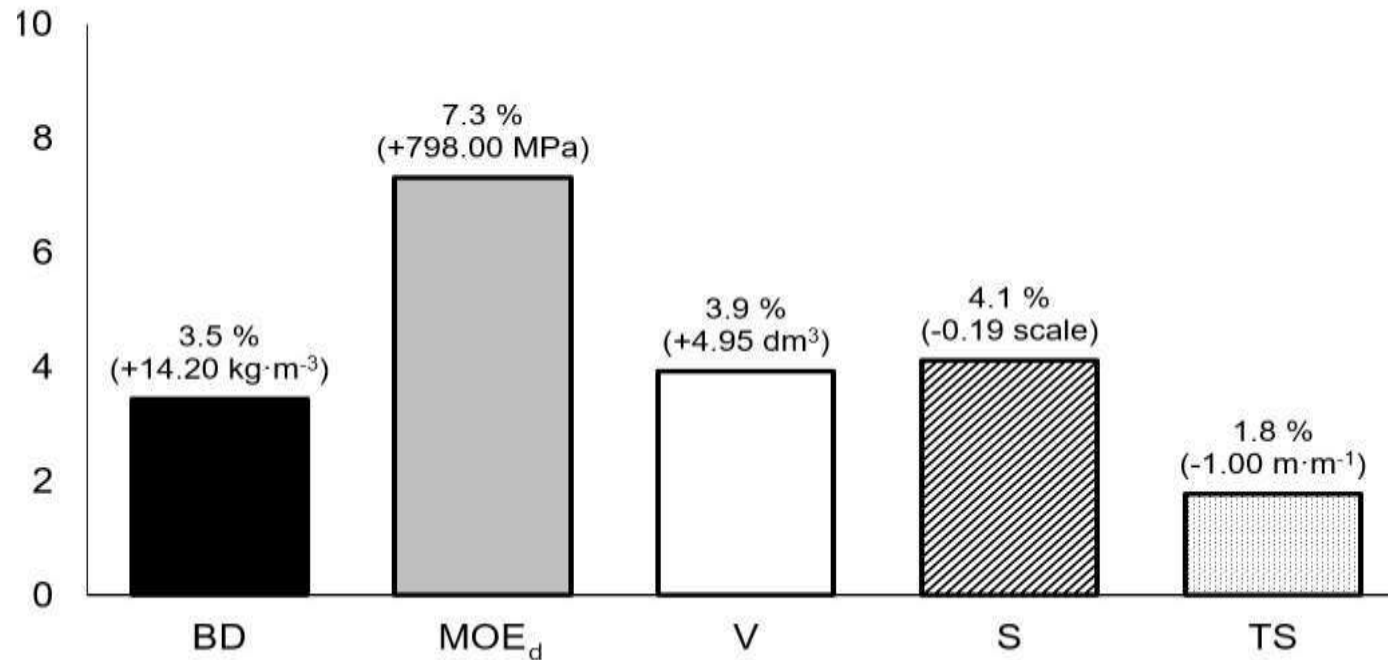
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Selección multicriterio

Ganancias genéticas (%)



Familias con buenos
resultados para:

Densidad básica
Módulo de elasticidad
Volumen
Rectitud
Esbeltez

Necesidades del sector forestal gallego: Índice de selección



Cofinanciado por
la Unión Europea



GOBIERNO
DE ESPAÑA



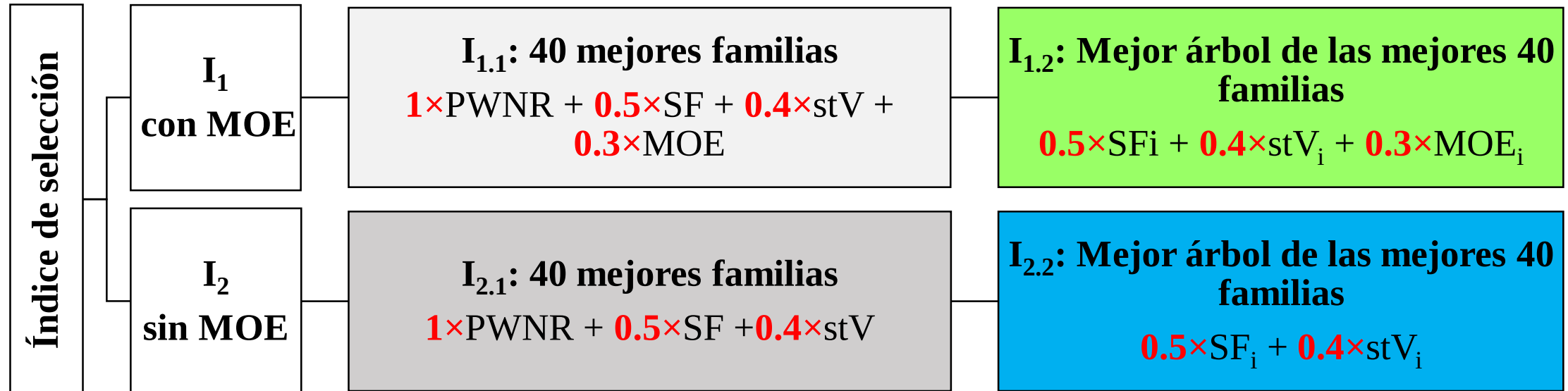
MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



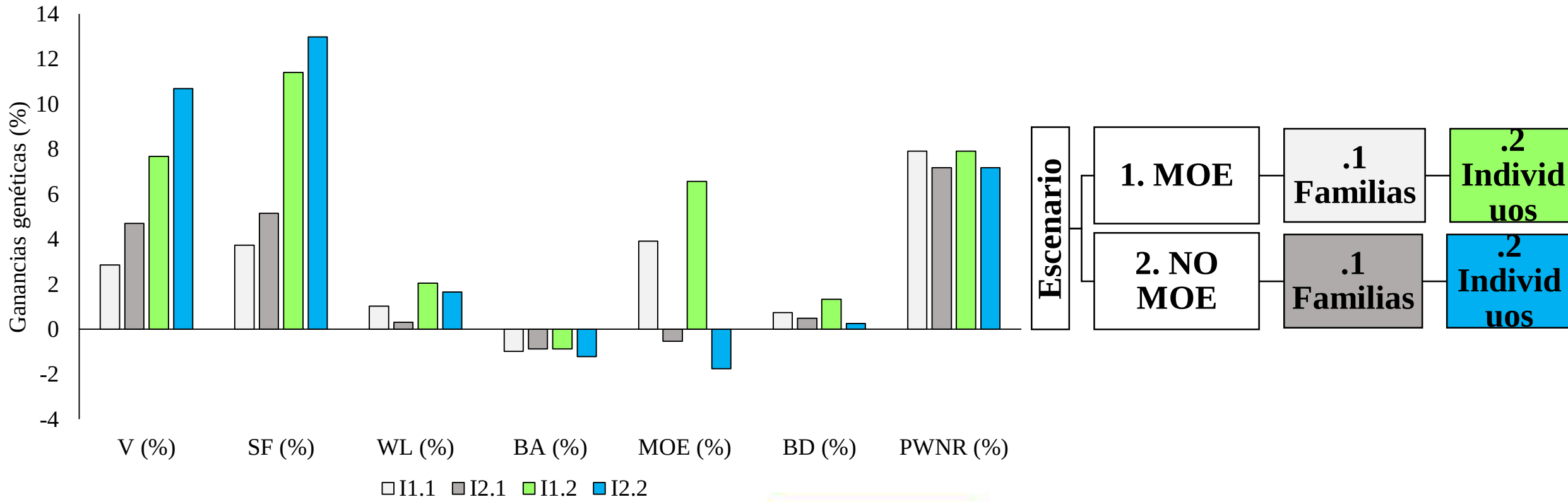
Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros
Técnicos Forestales y Graduados en
Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Índice de selección

En rojo se indican los pesos de importancia relativa



Índice de selección





2 grandes conclusiones

**Familia
1**

**Familia
2**

**Familia
3**

1. Se pueden considerar poblaciones fuera de Galicia para realizar cruces controlados y mejorar la resistencia al NMP.
2. La selección que mejor cubre las necesidades actuales del sector forestal gallego es: **SELECCIONAR EL MEJOR INDIVIDUO DENTRO DE LAS MEJORES FAMILIAS EN BASE A LA RESISTENCIA AL NMP, CRECIMIENTO, VOLUMEN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.**

¿Dónde encontrar esta información?

- Torres-Sánchez E, Acosta JJ, Hodge GR, Prada E, Menéndez-Gutiérrez, Díaz R (2025) Multi-trait selection in a *Pinus pinaster* Aiton breeding program: developing a selection index dealing with genotype by environment interaction in volume. *Forestry*
- Díaz R, Torres-Sánchez E, Prada E, Villar L, Menéndez-Gutiérrez M (2025) Programa de mejora de *Pinus pinaster* frente al nematodo de la madera. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales
- Torres-Sánchez E, Prada E, Menéndez-Gutiérrez M, Díaz R (2025). Incorporación de caracteres clave para el sector forestal en el programa de mejora genética de *Pinus pinaster* en Galicia. 9º Congreso Forestal Español
- Torres-Sánchez E, Acosta JJ, Hodge GR, Prada E, Menéndez-Gutiérrez, Díaz R (2024) Volume-based selection in *Pinus pinaster* Aiton breeding: evaluating resistance to *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle and wood properties. *Annals of Forest Science*
- Torres-Sánchez E, Menéndez-Gutiérrez M, Villar L, Díaz R (2023) The effects of provenance, climate, and chemical defense on the resistance of *Pinus pinaster* Aiton to *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhner). *Annals of Forest Science* 80
- Torres-Sánchez E, Menéndez-Gutiérrez M, Villar L, Díaz-Vázquez R (2022) Evaluación de la susceptibilidad de 32 procedencias de *Pinus pinaster* frente a *Bursaphelenchus xylophilus*. 8o Congreso Forestal Español 8:1–16
- Díaz R, Prada E, Alonso M, Villar L, Torres-Sánchez E, Frade S, Menéndez-Gutiérrez M (2023) Resistencia al nematodo del pino. La investigación produce conocimiento y ... resultados reales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales Conferencias y Ponencias del 8º Congreso forestal Español. Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 49, 31–52
- Díaz R, Prada E, Alonso Santos M, Villar Caamaño L, Torres Sánchez E, Frade S, Menéndez Gutiérrez M (2024) Resistencia ao nematodo do piñeiro. A investigación produce coñecemento e resultados reais. *Agroexpres* 8, 12–15.



CENTRO DE
INVESTIGACIÓN
FORESTAL LOURIZÁN

Muchas gracias por vuestra atención

Trabajemos juntos para el sector forestal

Centro de Investigación Forestal de Lourizán