

¿Cómo influye la procedencia en el éxito de las plantaciones?

Algunos ejemplos basados en ensayos genéticos

Chambel, Regina,
Caño Prieto, Fernando,
Ballesteros, Eduardo,
Pulido, Rodrigo,
Auñón, Francisco,
Barba, Diana,
Climent, Jose,
Notivol, Eduardo,
Alia, Ricardo

El origen de la semilla es una información esencial cuando se planifica un proyecto de forestación o restauración forestal. El origen influye en el comportamiento y adaptación de las plantaciones futuras, por lo cual la legislación sobre comercialización de material de reproducción obliga a conocer el origen de las especies reguladas. Utilizando los datos de la red española de ensayos genéticos, se han utilizado dos variables relacionadas con la adaptación de las procedencias: la supervivencia y la altura. Se ha estimado la superioridad de la mejor procedencia de cada sitio de ensayo respecto a la media, y la superioridad media en todos los sitios evaluados es del 125 % para las dos variables. El intervalo para la supervivencia es de 104-174 % y del 111-194 % para la altura. Se propone la necesidad de incluir esta información en el mapa forestal de España para realizar una gestión sostenible de los recursos genéticos forestales.

INTRODUCCIÓN

El término procedencia se refiere (SECF, 2024) tanto al “lugar de origen de un determinado grupo animal o vegetal” como al “área geográfica y medio ambiente de donde son nativos los árboles padres, etc., y dentro de cuyos límites se ha desarrollado la constitución genética de estos por selección natural”. También se conoce como procedencia a la “fuente geográfica, es decir, lugar de

origen de un lote dado de semillas o de polen de una población autóctona o no autóctona”. Este es un concepto básico para identificar el origen de la semilla en repoblaciones, y como se menciona posteriormente, conviene diferenciarlo del término región de procedencia de los materiales de reproducción.

En España se realizó un gran esfuerzo reforestador en el siglo pasado, enfocado principalmente en especies

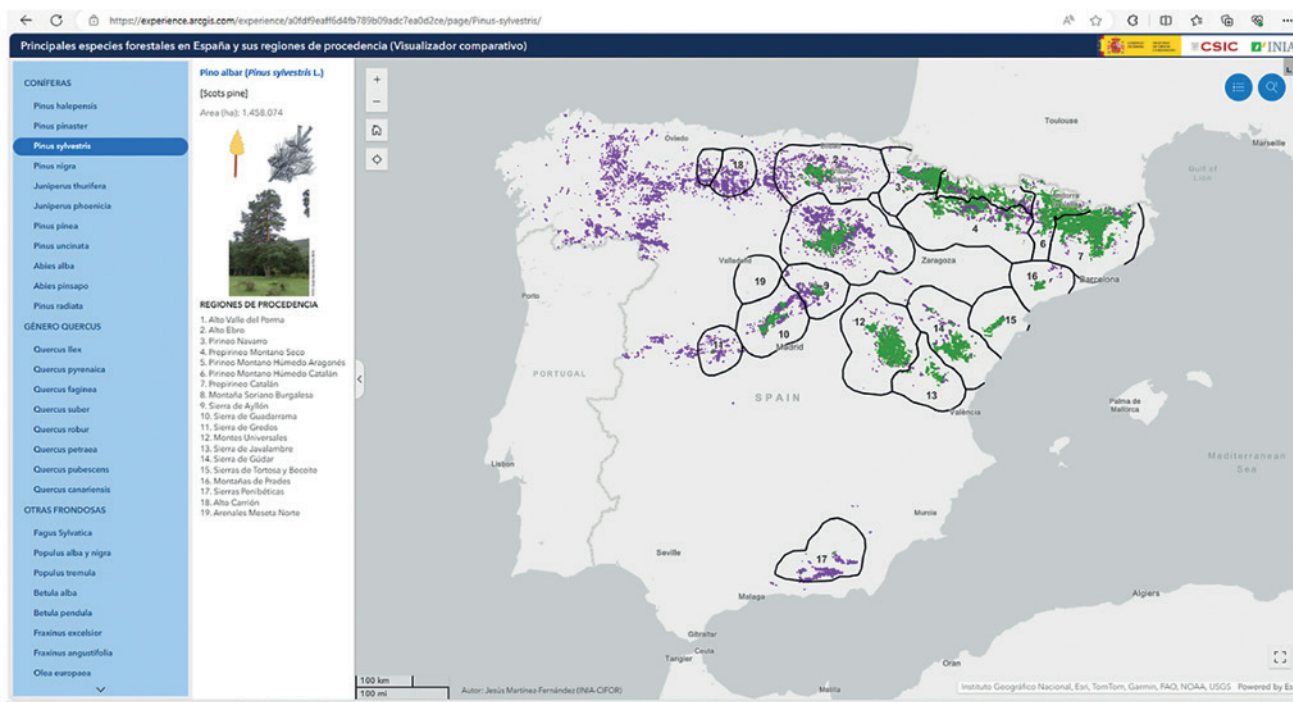


Fig. 1. Mapa de regiones de procedencia de *Pinus sylvestris*, con distinción entre poblaciones autóctonas (verde) y alóctonas de origen desconocido (visor de especies forestales, www.genfored.es)

del género *Pinus* y alguna otra especie productiva como eucalipto o chopos.

Esta actividad repobladora ha dado lugar a una estructura espacial compleja de poblaciones autóctonas y no autóctonas. Resultado de este esfuerzo, actualmente se cuenta con información para algunas especies sobre la distribución de poblaciones autóctonas y plantaciones de origen desconocido (Figura 1). Esta información tiene gran importancia en la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales y es más detallada de la que suele existir en otros países europeos.

Esta información ha permitido avanzar en la delimitación de las regiones de procedencia (RP) y materiales de base en poblaciones con origen conocido, como primer paso para un suministro de semillas de calidad. El RD 289/2003, de 7 de marzo, sobre comercialización de material forestal de reproducción, define las RP como unidad básica de comercialización de los materiales identificados y seleccionados, y los materiales de base, como los distintos orígenes del material forestal de reproducción (fuentes semilleras, rodales, huertos semilleros, progenitores de familia, clones y mezclas de clones). La definición de estas RP determina algunas

características relacionadas con la adaptación y el comportamiento de las plantaciones futuras. Esta relación permite que las recomendaciones de uso ofrezcan pautas de elección de los materiales de base y sus materiales forestales de reproducción basadas en similitudes ecológicas o en resultados de ensayos genéticos (Alía *et al.* 2022)

Además, ha permitido avanzar en la delimitación de unidades de conservación genética *in situ* de distintas especies forestales, en aplicación del RD 159/2022, de 1 de marzo, sobre conservación de recursos genéticos de especies forestales y de la flora silvestre, donde las define como: "población constituida por un grupo de individuos de la misma especie forestal que ocupa un área geográfica definida y genéticamente aislada, en cierto grado, de otros grupos distintos; cuyo objetivo es mantener la variación genética intraespecífica y la dinámica evolutiva de la especie en su área de distribución, y que está compuesta por una zona central de conservación, denominada núcleo de conservación, y una zona de aislamiento que la rodea, denominada zona tampón".

Sin embargo, la información sobre el origen del material de reproducción

utilizado en el pasado en las plantaciones a nivel nacional es muy limitado, lo que impide obtener conclusiones sobre el efecto del origen en el desempeño de las plantaciones. Esta ausencia de información supone una gran incertidumbre acerca de la posible mezcla (introgresión) entre poblaciones alóctonas y las autóctonas si los orígenes son distintos. Por ello, es necesario mejorar la información sobre el origen de las plantaciones como herramienta esencial para la planificación forestal. Esta actividad se está abordando mediante la inclusión del origen en la información del mapa forestal, para cada una de las teselas definidas.

Según las estadísticas oficiales, en la actualidad, las repoblaciones se plantean con distintos objetivos principales: reforestación de tierras agrarias abandonadas, producción y protección. En el periodo 2006-2015, la superficie repoblada anualmente fue de 22 743 ha, con una gran diversidad de especies utilizadas según el objetivo de la plantación. Las plantaciones de protección representan el 61,3 % de todas las plantaciones, y las plantaciones con mezclas de especies representan el 41,2 % del área repoblada. Las especies no autóctonas se usan principalmente en plantaciones



Fig. 1. Ensayo de procedencias de *Pinus halepensis* (P24VED)

productivas y representan el 12,9 % de todas las plantaciones durante el período considerado.

Teniendo en cuenta esta diversidad de especies y materiales utilizados, nos planteamos analizar el efecto del origen de los materiales de reproducción en el comportamiento futuro de las plantaciones. Para ello, describiremos en primer lugar la principal herramienta de análisis de esta información: la Red Nacional de Ensayos Genéticos, establecida con el objetivo de conocer la variación genética entre poblaciones de las especies forestales. Analizaremos sus características y principales limitaciones.

En segundo lugar, mostraremos ejemplos de la incidencia del origen de las plantaciones en varias especies forestales (*Pinus canariensis*, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, *Quercus ilex* y *Quercus suber*) para dos caracteres adaptativos esenciales: la supervivencia y la altura (ver Ramírez-Valiente *et al.* 2022 y Notivol *et al.* 2020, para un análisis completo).

LA RED DE ENSAYOS GENÉTICOS

La red española de ensayos genéticos (GENFORED, www.genfored.es) es una infraestructura de-

finida por la Estrategia Española de Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales (MIMAM, 2006) y gestionada por CITA e ICIFOR-INIA, CSIC.

Incluye ensayos de procedencias de distintas especies forestales. Los ensayos de procedencia son ensayos genéticos en el que se incluyen plantas cuyo origen procede de distintas localidades (es decir, de distintas procedencias) y establecidas según un diseño estadístico que permite separar los efectos del sitio de ensayo de los componentes genéticos ligados a la procedencia de la semilla (Figura 1).

En estos ensayos se intenta incluir una representación de los principales orígenes de las mismas y que cubran el área de distribución de la especie. Se establecen como primera fase en programas de producción de semilla para seleccionar las mejores poblaciones, o como herramienta de estudio de los patrones de variación genética entre las poblaciones de una especie forestal. Su principal limitación se deriva del número de especies representadas, el número de sitios de ensayo existentes para cada especie y la edad de los ensayos, instalados principalmente

durante el siglo pasado (Figura 3). Esta red, sin embargo, ha proporcionado una valiosa información para comprender los factores que ocasionan la variación genética de las especies forestales, y los patrones de variación para algunos caracteres relacionados con la adaptación a factores abióticos y bióticos, sujetos a selección natural, y caracteres productivos de interés en silvicultura como el volumen, objeto de programas de mejora.

IMPORTANCIA DE LA PROCEDENCIA EN LAS PLANTACIONES

Para analizar la importancia de la procedencia en las plantaciones, se analizan los resultados obtenidos en diversos sitios de ensayo (Tabla 1) para las especies *Pinus canariensis* (cinco sitios a los 11-12 años), *Pinus halepensis* (cinco sitios, 11-12 años), *Pinus nigra* (tres sitios, 12 años), *Pinus pinaster* (cinco sitios, 20 años), *Pinus sylvestris* (tres sitios, 6-7 años), *Quercus ilex* (dos sitios, 12 años) y *Quercus suber* (un sitio, 12 años).

Los datos analizados corresponden a la supervivencia y altura (ver Ramírez-Valiente *et al.* 2021 para más detalles). Los valores de la

Tabla 1. Descripción de los sitios de ensayos utilizados en este estudio (modificado de Ramírez-Valiente et al. 2021).

Especie	Sitio de ensayo	Localización	Diseño ¹	Nº procedencias	Árboles/procedencia
<i>P. canariensis</i>	P27FAS	Fasnía-Canarias	BI, 7 Rep	21	28
	P27HIE	Hierro-Canarias	BI, 8 Rep	19	32
	P27LLA	Llanos-Canarias	BI, 7 Rep	21	28
	P27REA	Realejos-Canarias	BI, 7 Rep	19	28
	P27TIRA	Tirajana-Canarias	BI, 7 Rep	19	28
<i>P. halepensis</i>	P24ADE	Ademuz-Valencia	BI, 4 Rep	52	16
	P24CUC	Cucalón-Valencia	BI, 4 Rep	52	16
	P24OLM	Valdeolmos-Madrid	BI, 4 Rep	52	16
	P24SIA	Montañana-Zaragoza	BI, 4 Rep	52	16
	P24VED	El Vedado-Zaragoza	BI, 4 Rep	52	16
<i>P. nigra</i>	P25GRA	La Granja-Segovia	BI, 12 Rep	19	48
	P25REB	Rebolledo-Palencia	BI, 10 Rep	16	40
	P25RUC	Rucandio-Palencia	BI, 4 Rep	11	40
<i>P. pinaster</i>	P26ACE	Acebo-Cáceres	BI, 4 Rep	49	64
	P26CAB	Cabañeros-Ciudad Real	BCA, 4 Rep	48	65
	P26ESP	Espinoso-Toledo	BCA, 4 Rep	43	66
	P26MIR	Miravete-Cáceres	BCA, 4 Rep	49	67
	P26RIO	Riofrío-Ciudad Real	BCA, 4 Rep	48	68
<i>P. sylvestris</i> ²	P21ARA	Aragües-Huesca	BCA, 4 Rep	16	60
	P21NAV	Navafría-Segovia	BCA, 4 Rep	15	68
	P21GUD	Gúdar-Teruel	BCA, 4 Rep	10	68
	P21CUR	Curueño-León	BCA, 4 Rep	16	68
	P21BAZ	Baza-Granada	BCA, 4 Rep	14	68
<i>Q. ilex</i>	F45AYO	Ayora-Valencia	BI, 4 Rep	31	80
	F45PUE	Pueblo Nuevo-Cáceres	BI, 4 Rep	31	80
<i>Q. suber</i>	P46MON	Monfragüe-Cáceres	BI, 4 Rep	32	119-120

¹BI: Bloques incompletos, BCA: bloques completos aleatorizados, Rep: número de réplicas; ²Solo incluidas las procedencias españolas



Fig. 3. Mapa de procedencias y sitios de ensayo en la red nacional de ensayos genéticos (GENFOR, www.genfored.es)

supervivencia corresponden al porcentaje de plantas vivas a la edad de evaluación del sitio de ensayo. Se ha calculado para cada sitio el valor máximo, mínimo y medio de las procedencias ensayadas para las dos variables de estudio: altura y supervivencia. Para evitar el problema de escala en la altura, el valor presentado corresponde a la desviación respecto de la media respecto su valor, en porcentaje. Para estos mismos ensayos, se presenta la superioridad de la mejor procedencia respecto del valor medio y de la procedencia con peor comportamiento. Estos valores indican el valor de ganancia frente a otras procedencias posibles evaluadas. Estos valores se presentan para la supervivencia y para la altura.

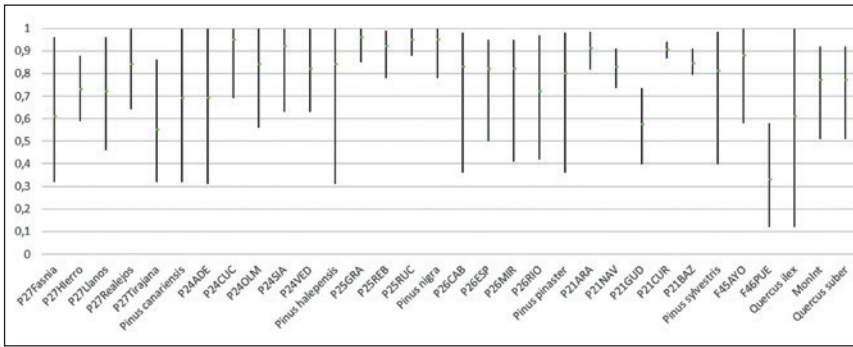


Fig. 4. Valores descriptivos de la supervivencia (máximo, mínimo y media) por ensayo. Para la especie, corresponde al conjunto de los ensayos de la especie

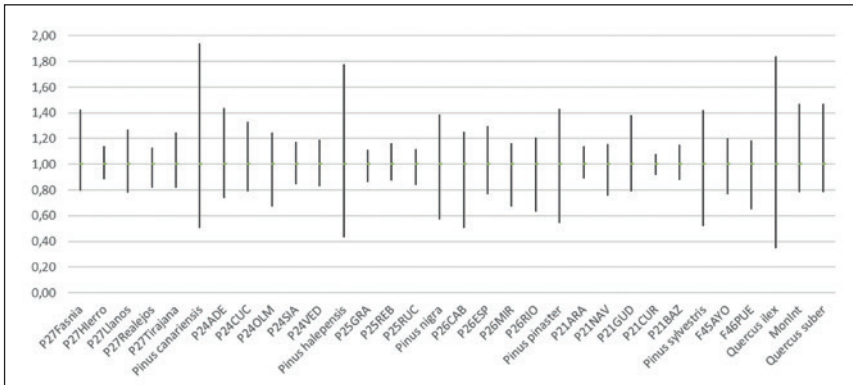


Fig. 5. Valores descriptivos de la altura corregida respecto al ensayo (máximo, mínimo y media). Para la especie, corresponde al conjunto de los ensayos de la especie

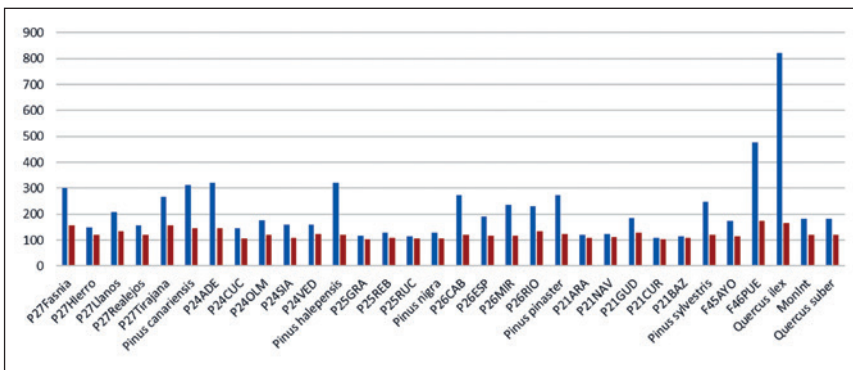


Fig. 6. Superioridad de la mejor procedencia de cada sitio de ensayo para la supervivencia de procedencias ensayadas en España de varias especies forestales. Para la especie, corresponde al conjunto de los ensayos de la especie. En azul superioridad en % respecto de la peor procedencia del ensayo. En rojo superioridad respecto a la media del ensayo

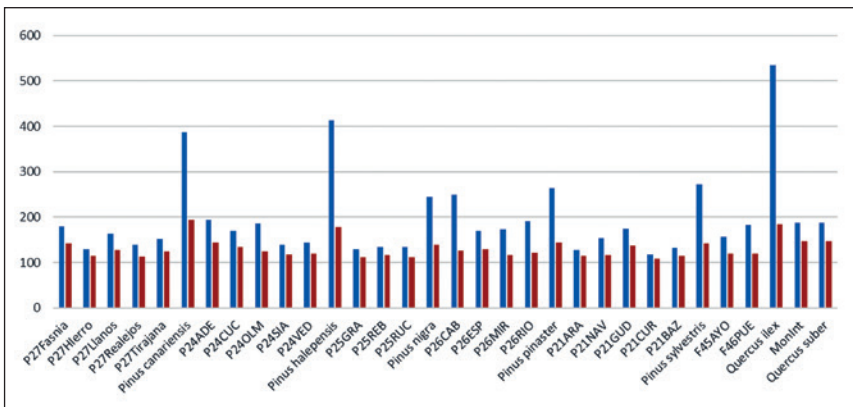


Fig. 7. Superioridad de la mejor procedencia de cada sitio de ensayo para la supervivencia de procedencias ensayadas en España de varias especies forestales. Para la especie, corresponde al conjunto de los ensayos de la especie. En azul, superioridad en % respecto de la peor procedencia del ensayo. En rojo, superioridad respecto a la media del ensayo

Se observa que para la supervivencia (Figura 4), los intervalos de variación entre procedencias en cada sitio de ensayo son muy elevados, indicando una diferente adaptación de las procedencias a las condiciones ambientales de los sitios de ensayo.

En el caso de la altura, los valores respecto de la media del ensayo de la mejor y peor procedencia también presenta una gran variación en todos los ensayos analizados (Figura 5).

Esta gran variación se traduce en diferencias en la posible ganancia dependiendo de la procedencia elegida para los sitios de ensayo. Para la supervivencia, la ganancia media respecto de la peor procedencia en cada sitio es del 213 % para el conjunto de ensayos evaluados, llegando en un sitio de *Q. ilex* al 477 %. Respecto de la media de las procedencias en cada ensayo, esta superioridad media es del 125 %, con un valor máximo del 173 % para el ensayo antes citado de *Q. ilex* (Figura 6).

En el caso de la altura, se obtienen ganancias similares a las señaladas para la supervivencia. El valor medio de la superioridad frente a la peor procedencia de cada sitio de ensayo es del 166 %, con un valor máximo de 249 % en un sitio de ensayo de *P. pinaster*. Esta superioridad es del 125 % respecto de la media de cada sitio de ensayo, con un valor máximo de 146 % para el único sitio de ensayo evaluado para *Q. suber* (Figura 7).

Otra aplicación de los resultados de los ensayos genéticos es la de comparar las condiciones climáticas de los orígenes de la semilla en el momento de la recolección con las previsiones climáticas de los sitios de ensayo en un escenario climático futuro. De acuerdo con las predicciones, las condiciones futuras esperadas aumentarán la temperatura media anual, la diferencia diurna media, la estacionalidad de la temperatura, la temperatura media del trimestre más cálido y disminuirá la precipitación del trimestre más seco (Figura 8).

Con estas predicciones se estudia la idoneidad de los orígenes de la semilla y el lugar de plantación (Figura 9). La idoneidad es entendida para cada índice si el valor actual es mejor o igual que el valor previsto para el año 2050 (i.e., si el bio1 (MAT) de una

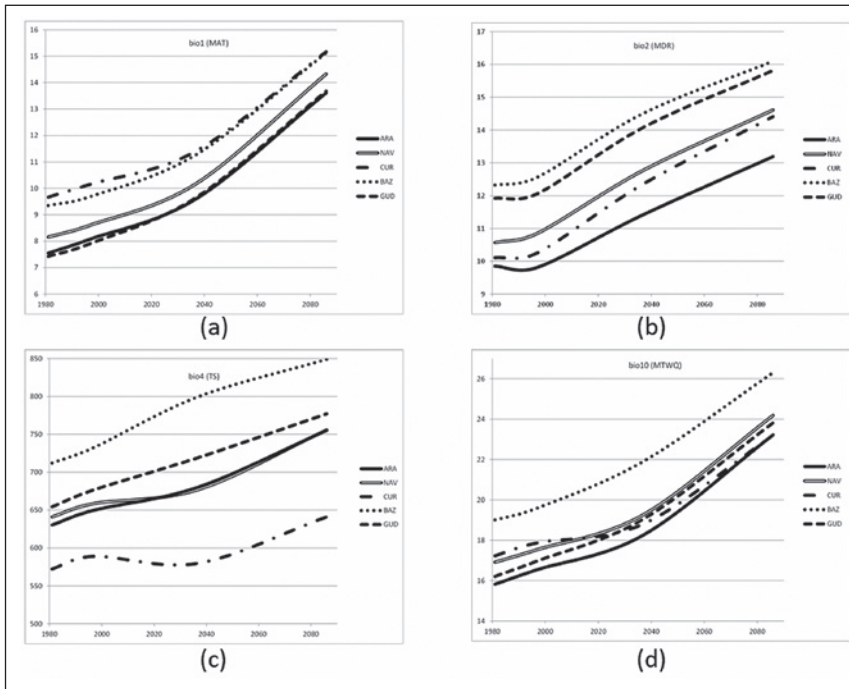


Fig. 8. Proyección de los índices climáticos para el período 1980-2100 utilizando el servicio de geo-web B4EST-DT [https://ibbr.cnr.it/b4est/] para cinco sitios de ensayo de *Pinus sylvestris*. (a) bio1, MAT: temperatura anual media, (b) bio2, MDR: diferencia diurna media, es decir, media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima), (c) bio4, TS: temperatura estacionalidad (desviación estándar $\times 100$), (d) bio10, MTWD: temperatura media del trimestre más cálido (Notivol, 2020)

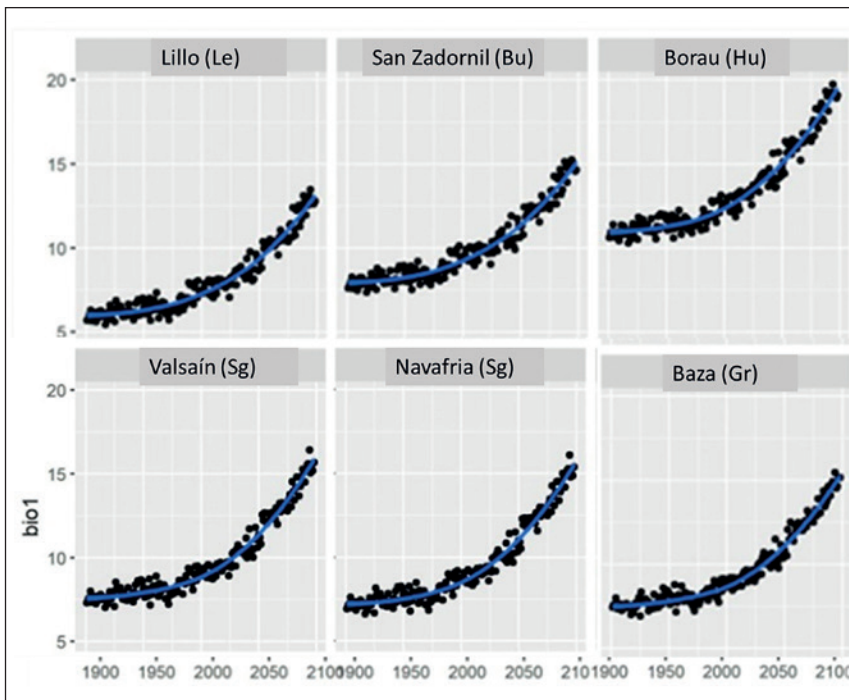


Fig. 9. Ejemplo de ajustes suavizados de los valores brutos anuales de bio1 (MAT) de B4EST-DT para el período 1900-2098 para seis de las procedencias evaluadas en los cinco sitios de ensayo (El nombre corresponde a la procedencia) (Notivol, 2020)

procedencia en 2020 es de 10 °C, y en un sitio de ensayo en 2050 el valor previsto de este índice es de 8 °C, en este caso la procedencia computa una coincidencia positiva porque la adaptación de la temperatura está

asegurada, pero si el valor pronosticado fuera de 11 °C, no).

De acuerdo con las predicciones, las condiciones futuras esperadas aumentarán la temperatura media anual, la diferencia diurna media, la estacionalidad

de la temperatura, la temperatura media del trimestre más cálido y disminuirá la precipitación del trimestre más seco. En general, para 2050 todavía algunas de las poblaciones serán adecuadas para las condiciones futuras de los diferentes sitios considerando al menos tres de los índices climáticos, pero no para 2100. Es interesante percatarse de que, en el sitio más austral, no habrá ninguna procedencia adecuada. Por el contrario, en las zonas más al norte de la Península todavía habrá diferentes poblaciones aptas en estas condiciones.

CONCLUSIONES

La variación encontrada en los ensayos de la red nacional de ensayos genéticos remarca la importancia de la selección de procedencias para su uso en forestación y restauración forestal, así como la necesidad de mantener una red muy valiosa e incrementar el número de especies incluidas en esta infraestructura. Estos valores también reflejan la importancia de conocer el origen de las plantaciones realizadas y la necesidad de incluir esta información en una herramienta de planificación forestal esencial como el Mapa Forestal de España. Los ensayos de procedencias se han configurado como una herramienta fundamental en la provisión de conocimiento aplicado a las necesidades futuras en un clima cambiante y para la conservación de los recursos genéticos de las especies forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alía R, Notivol E, Climent J et al. 2022. Local seed sourcing for sustainable forestry. *PLoS ONE* 17(12): e0278866.
- MIMAM. 2006. Estrategia de Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Ramírez-Valiente JA, Santos del Blanco L, Alía R et al. 2021. Adaptation of Mediterranean forest species to climate: lessons from common garden experiments. *J. Ecol.* 110(5): 1022-1042.
- Notivol E. 2020. Mejora genética de *Pinus sylvestris* L.: estudio de procedencias y estrategias de conservación y mejora en España. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- SECF. 2024. Glosario Técnico Forestal. <https://seeforestales.org/content/glosario-tecnico-forestal> (acceso 1.5.2024)