



R. Serrada, V. Gómez-Sanz*

Grupo de Investigación ECOGESFOR – Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid.

*Correo electrónico: valentin.gomez@upm.es

Bases físicas para la elección de ecotipos en la restauración vegetal bajo escenarios de cambio climático

Resultados clave

- El Catálogo Nacional de Materiales Base (CNMB) proporciona información para la obtención de material forestal de reproducción (semillas y plantas) con garantía certificada.
- El correcto uso del CNMB precisa la caracterización autoecológica de cada ecotipo productor de semillas.
- El trabajo que se presenta completa el conocimiento del medio físico de ecotipos de algunas especies de montaña (abeto, haya, pino negro y pino silvestre) del CNMB.
- Los resultados a obtener permitirán identificar el ecotipo más adaptado a futuros escenarios de cambio.

Contexto

La dinámica de cambio global, en especial la derivada del cambio climático, introduce importantes niveles de incertidumbre en lo relativo a la estabilidad y la evolución de los sistemas naturales (Gracia et al. 2005). Esta perspectiva obliga a la implementación de modelos de planificación y gestión más adaptativos y flexibles, que permitan la anticipación a los problemas o retos emergentes y la flexibilidad necesaria para afrontarlos de una manera adecuada.

Entre los impactos esperables del cambio climático está la reducción de la reserva hídrica de los suelos en los sistemas naturales, consecuencia del incremento en las tasas de evapotranspiración, asociado a la elevación de la temperatura del aire. A ello deben incorporarse los efectos de un incremento en la irregularidad de las precipitaciones, con efectos sobre la torrencialidad y los procesos erosivos

que llevan a la desertificación (Serrada et al. 2011) y de la potenciación de la actividad de agentes bióticos, al reducirse la limitación por frío y ampliarse sus períodos de actuación. Las consecuencias derivadas implicarán alteraciones en la fisiología y fenología de las especies, con efectos de diferente signo sobre su productividad, estabilidad y persistencia. Una menor capacidad de acumular reservas por parte del arbolado va ligada a una mayor vulnerabilidad frente a las perturbaciones (fuegos, plagas, enfermedades), al presentar mayores dificultades para completar procesos renovadores (brotación, diseminación) y de resistencia biótica (Gracia et al. 2005). En este contexto, las masas forestales ya instaladas, ayudadas o no por la acción antrópica, son capaces de soportar niveles de estrés ambiental importantes, circunstancia que no ocurre cuando la masa forestal se encuentra en fase de regeneración (Gómez & Elena 1997). Es en esta fase cuando la vulnerabilidad al efecto del cambio climático es muy acusada, resultado fundamentalmente del impacto sobre el régimen hídrico del suelo. La menor disponibilidad hídrica dificultará que las plantas recientemente instaladas superen los episodios de sequía estival, previsiblemente más prolongados e intensos.

Particularmente vulnerables a estos efectos son las manifestaciones de masas forestales de limitada ocupación territorial o con su área de distribución en posición más elevada de los sistemas orográficos sin que exista límite natural del bosque, donde no es posible el ascenso altitudinal tras un incremento de las temperaturas. Estas circunstancias se presentan en especies arbóreas de montaña y resultan más evidentes en las escasas manifestaciones de *Abies pinsapo*, las poblaciones de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Baza, las de *Pinus uncinata* en la Sierra de Gúdar o las de la mayoría de las sierras levantinas o las de la mitad sur peninsular, a excepción de Sierra Nevada. En todos estos casos, las

poblaciones señaladas son bastante reducidas, por lo que son más sensibles al cambio y están en evidente peligro de extinción. En concordancia con lo expuesto, el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (PNACC) incluye entre los bosques más vulnerables los de alta montaña, junto a los de ambientes secos (áridos) y los de ribera.

Por otra parte, la mejora de la calidad de las masas más vulnerables, unida al aumento de su resiliencia, el control de su fragmentación y la mejora de la conectividad entre ellas suponen un importante reto para la gestión forestal futura. La diagnosis que fundamenta el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017 establece que la recuperación del funcionamiento de los ecosistemas por medio de su restauración ecológica debe ser una prioridad en las políticas de conservación de la biodiversidad. En este objetivo, el potencial de las repoblaciones forestales para contribuir a la restauración ambiental de ecosistemas degradados es muy grande si se realiza siguiendo criterios ecológicos, especialmente en relación con la diversidad estructural, con la composición florística de las masas y con su correcto tratamiento futuro.

La ineludible actividad repobladora en los dos contextos reseñados requiere la necesidad de utilización de semillas y plantas de especies forestales que tienen su origen en condiciones ecológicas diferentes al lugar de instalación, lo cual justifica el interés y la utilidad de definir unas bases físicas para la elección de ecotipos destinados a la restauración vegetal, valorando y amortiguando los efectos negativos que puedan generar los impactos derivados del cambio climático. Para las masas forestales con un área de distribución reducida y limitada a las posiciones más elevadas de los sistemas orográficos, el conocimiento de las bases físicas debe garantizar la identificación de ecotipos de origen y calidad genética adecuados, de modo que se evite en lo posible la generación de poblaciones híbridas que podrían acarrear pérdida de ecotipos autóctonos e incertidumbre respecto a su adaptación. Por otro lado, para la recuperación de la gran extensión de terrenos degradados y desarbolados que hay en España, la migración asistida debe fundamentar su éxito en la elección, dentro de las compatibles, de especies y procedencias adecuadas a los objetivos de la repoblación, con especial atención a la adaptación a las nuevas condiciones de disponibilidad hídrica que puedan sobrevenir en futuros escenarios de cambio climático.

Los elementos básicos en el sistema administrativo que regulan la producción y comercialización de los materiales forestales de reproducción son el Registro Nacional de Materiales de Base y el correspondiente CNMB, resumen del anterior, donde se recogen aquellos materiales de base aprobados en nuestro país de los cuales pueden obtenerse materiales de reproducción certificados en su origen y calidad genética (MAGRAMA 2012). El procedimiento de selección de los Rodales Selectos (especies y localizaciones) y de identificación de un espacio concreto para ser incluido en esta categoría se decide por las Comunidades Autónomas. El CNMB es un compendio de los materiales aprobados por las distintas Comunidades Autónomas, y el Listado (Catálogo) Europeo es la suma de los distintos catálogos nacionales.

■ Adaptación

A iniciativa del Grupo de Investigación de Ecología y Gestión Forestal Sostenible (ECOGESFOR) de la Universidad Politécnica de Madrid, se ha puesto en marcha un proyecto de investigación que tiene por objeto principal la caracterización del medio físico de rodales selectos de especies de montaña para la producción de semillas forestales. Aumentar este conocimiento se considera imprescindible para actuar con eficacia y reducir el riesgo de error en las líneas de trabajo apuntadas en el epígrafe anterior. Para esta tarea se cuenta con el apoyo institucional de la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal (gestora estatal de Catálogo Nacional de Materiales de Base) y de la Oficina Española de Cambio Climático, ambas del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino Ministerio (MAGRAMA), junto con la co-financiación de la Fundación Biodiversidad (concesión de ayudas en régimen de concurrencia competitiva para el ejercicio del año 2012; resolución de fecha 28 de diciembre de 2012).

La principal finalidad de este proyecto es aportar información ecológica de referencia, como base para la correcta elección de ecotipos en la restauración, contemplando a su vez diferentes escenarios de cambio climático. Para ello se toma como punto de partida el Catálogo Nacional de Materiales Base. Entre los diferentes tipos de unidades de admisión que en él se incluyen, los Rodales Selectos (RS) se consideran Material Forestal de Reproducción de Categoría Seleccionada (Nicolás & Iglesias 2012), que a noviembre de 2011 suponían un total de 326 localizaciones, pertenecientes a 12 especies forestales, repartidas a lo largo de todo el territorio español, con una superficie ocupada de 17.907,59 ha (MAGRAMA 2012). Del conjunto de especies forestales arbóreas que aparecen en el Catálogo, las que se consideran para el presente estudio que pretende ser ampliado a todas, y por ser de montaña, son: *Abies alba*, *Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica*, con un número total de 82 rodales selectos que suman una extensión de 4.272,04 ha.

La carencia de conocimiento preciso, obtenido con método científico y homologable, de las condiciones ecológicas a nivel estación de las localizaciones de origen del diferente Material Base de Reproducción genera un alto grado de incertidumbre ante el riesgo de inadecuada utilización del mismo, con el peligro de poder provocar pérdidas económicas o consecuencias ambientales no deseadas. Cuando se complete la información que se inicia con el presente estudio, el proyectista de una restauración forestal, bien para ampliar áreas relicticas o bien para ampliar superficie arbolada, tras realizar la caracterización del rodal de trabajo con metodología similar, podrá simular las condiciones climáticas del escenario de cambio que decida para identificar el rodal semillero selecto de la especie elegida que en mayor medida se asemeje a las condiciones edafo-climáticas que espera para su rodal de trabajo.

La perentoria necesidad de subsanar esta carencia orienta el desarrollo del proyecto, tarea que conlleva:

- 1.- La evaluación de la variabilidad espacial del medio físico de los RS, para así identificar las diferentes condiciones de estación sobre las cuales vegeta la especie principal de la masa forestal (superficies con cierta homogeneidad de sus características físicas y que llevan a una respuesta vegetal diferenciada tanto

en su instalación, desarrollo y perpetuación, como en su dinámica a perturbaciones naturales o a acciones de manejo).

2.-La delimitación del ámbito climático asociado a los RS de cada una de las especies forestales arbóreas de montaña. Para ello se recurrirá al cálculo de diferentes parámetros, ampliamente reconocidos como evaluadores de la influencia del clima sobre la respuesta vegetal (Alonso et al. 2010):

- PI. Precipitación media en los meses de invierno, expresada en mm.
- PP. Precipitación media en los meses de primavera, expresada en mm.
- PV. Precipitación media en los meses de verano, expresada en mm.
- PO. Precipitación media en los meses de otoño, expresada en mm.
- PA. Precipitación media anual, expresada en mm.
- TM. Temperatura media anual en °C.
- TMC. Temperatura media mensual más alta (mes más cálido), en °C.
- TMF. Temperatura media mensual más baja (mes más frío), en °C.
- OSC. Diferencia en °C entre los valores de TMC y de TMF.
- ETP. Evapotranspiración potencial anual, en mm.
- SUP. Suma de superávits mensuales.
- DEF. Suma de déficits mensuales.
- IH. Índice hídrico, valor adimensional que se establece en función de SUP, DEF y ETP, según Thornthwaite & Mather (1957).
- DSQ. Duración de la sequía en meses, definidos como meses donde el doble de la temperatura media mensual es superior a la precipitación media mensual.
- ISQ. Intensidad de la sequía establecida por cociente entre el área seca y el área húmeda en los climodiagramas de Walter & Lieth (1960).

3.-El establecimiento del ámbito edáfico en el que se desarrollan actualmente las masas forestales de especies de montaña incluidas en los RS. En cada ámbito territorial de los RS se selecciona un punto de muestreo, representativo de las condiciones fisiográficas, botánicas y de dosel dominantes, procediéndose a continuación a su inventariación ecológica detallada. Para esta tarea, se fija una parcela circular de 12,6 m de radio, sobre la que posteriormente se lleva a cabo la recogida de información dasométrica, fisiográfica y botánica. Así mismo, se realiza el estudio del perfil del suelo, abriendo la

correspondiente calicata (zanja en curva de nivel, de unos 2 m de longitud y una profundidad máxima de 1,25 m, si previamente no se alcanza la roca madre coherente y dura), identificando y describiendo los distintos horizontes edáficos, y tomando una muestra representativa de cada uno de ellos. A partir de la información remitida por el laboratorio, se procede al cálculo específico de parámetros ecológicos, evaluadores de los condicionantes edáficos en la respuesta vegetal observada (Alonso et al. 2010):

- TF. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de las partículas minerales menores a 2 mm (Tierra Fina), expresada en porcentaje respecto del suelo natural.
- ARE. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de las partículas minerales comprendidas entre 2 mm y 50 μm (Arena USDA) expresada en porcentaje respecto a la Tierra Fina.
- LIM. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de las partículas minerales comprendidas entre 50 y 2 μm (Limo USDA) expresada en porcentaje respecto a la Tierra Fina.
- ARC. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de las partículas minerales inferiores a 2 μm (Arcilla USDA) expresada en porcentaje respecto a la Tierra Fina.
- PER. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de la Permeabilidad, expresada en valores de 1 (muy poco permeable) a 5 (muy permeable) según Gandullo (1985).
- HE. Media ponderada con el espesor de cada horizonte de la Humedad Equivalente en mm de agua, según Sánchez Palomares y Blanco (Gandullo & Sánchez 1994).
- CRA. Suma en mm de agua de los valores de Capacidad de Retención de Agua para cada horizonte calculada, según Gandullo & Sánchez (1994).
- MO. Media ponderada siguiendo el criterio de Russell & Moore (1968) del contenido de Materia Orgánica en cada horizonte, expresada en porcentaje respecto de la Tierra Fina
- MOS. Contenido en Materia Orgánica de los 25 cm superiores del suelo, expresado en porcentaje respecto de la Tierra Fina
- PHA. Media ponderada siguiendo el criterio de Russell & Moore (1968) del pH en H_2O (1:2,5) en cada horizonte.
- PHK. Media ponderada siguiendo el criterio de Russell & Moore (1968) del pH en CIK (1:2,5) en cada horizonte.
- NS. Contenido en Nitrógeno de los 25 cm superiores del suelo, expresado en porcentaje respecto de la Tierra Fina

- CNS. Relación Carbono/Nitrógeno de los 25 cm superiores del suelo.
- ETRM. Evapotranspiración Real Máxima posible anual en mm, según Thornthwaite & Mather (1957).
- SF. Sequía Fisiológica anual en mm, según Thornthwaite & Mather (1957).
- DRJ. Drenaje calculado del suelo anual en mm, según Thornthwaite & Mather (1957).

4.- La evaluación del grado de semejanza ecológica de las localizaciones de posible introducción de las especies estudiadas mediante la determinación de su posición (centralidad y/o marginalidad) en los modelos de autoecología paramétrica (basados en metodologías del tipo de envolvente ambiental), que para las principales especies arbóreas han desarrollado Gandullo & Sánchez (1994). A su vez, ubicados los diferentes RS en su respectivo espectro paramétrico, se propone como RS más adecuado (más homologable ecológicamente) aquel que presente la menor distancia (mayor semejanza ecológica) con la localización a repoblar.

A la conclusión de las tareas diseñadas se espera disponer de una información suficiente que permita transmitir a la sociedad y a la comunidad científico-técnica interesada en la gestión de los recursos naturales conocimientos robustos, fundamentados y de marcado carácter aplicado. En este sentido, la consecución efectiva de los objetivos establecidos en este primer estudio, y en los siguientes que abarquen los rodales selectos del resto de especies se espera posibilite:

- La creación de una base documental con datos georeferenciados del medio físico de los RS.
- La caracterización climática básica de cada uno de los RS.
- La caracterización edáfica básica de cada uno de los RS.
- La generación de modelos territoriales paramétricos que definan el medio físico de cada una de las unidades ambientales identificadas en el total de los RS.
- La creación de una aplicación informática de apoyo a la toma de decisiones en reforestación, con posibilidad de simulación de diferentes escenarios de Cambio Climático.

Como herramienta de adaptación, la ejecución del proyecto aportará resultados que faciliten la elección del lugar de procedencia del material de reproducción ecológicamente más adecuado para el lugar de introducción, tras el inventario de su medio físico. Ello posibilitará minimizar el riesgo de una elección equivocada con lo que, a través de una restauración ecológica preventiva, mitigar las consecuencias no deseadas de los efectos asociados a diferentes escenarios de cambio climático.

■ **Figura 1.**



▲ **Figura 1.** Ejemplo de rodal selecto inventariado (RS71/08/20/001 – Marumendi, Gipuzkoa). Aspecto general de la masa forestal, perfil del suelo y muestras extraídas del mismo.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Distribución de Rodales Selectos y puntos de muestreo del suelo por especie

Especie	Rodales Selectos definidos por MAGRAMA (2012)	Perfiles muestreados en la primera fase del estudio
<i>Abies alba L.</i>	2	2
<i>Fagus sylvatica L.</i>	20	20
<i>Pinus sylvestris L.</i>	57	35
<i>Pinus uncinata Mill.</i>	3	3
Total	82	60

▲ **Tabla 1.** El área general de distribución es muy amplia, extendiéndose a lo largo de los principales sistemas montañosos de la mitad septentrional de la Península Ibérica (Figura 2), acorde con la distribución natural de las masas de las especies consideradas.

Recomendaciones para su aplicación

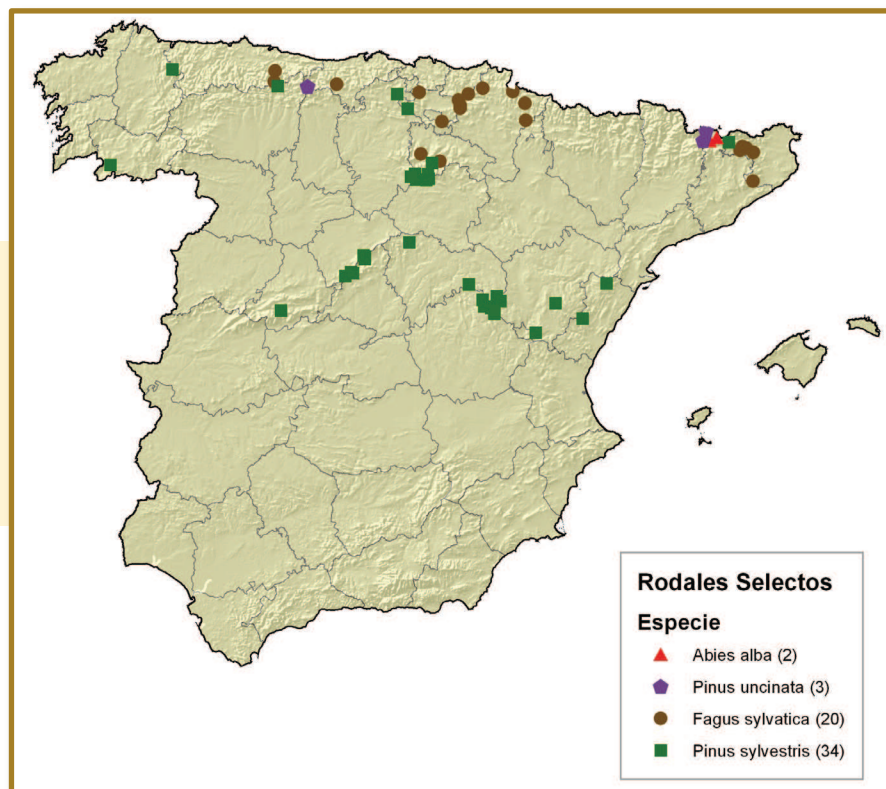
Todo este conjunto de resultados quedará integrado en una base de datos actual y versátil que incluirá los parámetros más relevantes de la caracterización del medio físico del conjunto de RS de las especies arbóreas de montaña del CNMB.

A partir de esta base de datos se desarrollará una herramienta informática, de fácil manejo, que ha de permitir a los agentes implicados en las tareas de

replantación forestal apoyar sus decisiones, en lo referente a qué material base utilizar para evitar errores que puedan conducir a inestabilidad de las masas creadas y a procesos de contaminación genética negativa. La información de entrada será la recogida en el pertinente inventario del medio físico de la localización a repoblar, en el que el estudio edafológico debe tener especial relevancia.

Las diferentes salidas de información proporcionarán información aplicada, para poder evaluar el grado de homologación ecológica de la localización de

Figura 2.



▲ **Figura 2.** Distribución en la Península Ibérica de los Rodales Selectos inventariados.

Fuente: Elaboración propia.

interés, no sólo con la región de procedencia de semilla más adecuada (Alía et al. 2009), sino con el RS que mejor se adapta a sus condiciones tanto actuales, como en futuros escenarios de cambio.

Esta herramienta de adaptación será plenamente efectiva cuando se complete la base de datos con los resultados del inventario del medio físico de las especies forestales españolas. El trabajo se ha iniciado con las especies de montaña del CNMB, pero se espera poder completar el trabajo en años sucesivos para todos los taxones en él incluidos.

■ Material suplementario

Los rodales selectos son superficies con masas forestales homogéneas en su composición, de identidad conocida, cuyos componentes resultan apropiados para la reproducción al presentar características fenotípicas superiores a la media (para las condiciones ecológicas predominantes y en ausencia de caracteres desfavorables para la silvicultura). Su establecimiento es resultado de una selección fenotípica a nivel de población, nunca basada en características particulares de los individuos (Nicolás & Iglesias 2012).

En esta fase del trabajo, los RS inventariados se corresponden a las especies de montaña *Abies alba*, *Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* (Figura 1), con las frecuencias de muestreo del suelo recogidas en la tabla 1. La diferencia observada entre el número de rodales selectos definidos y muestreados en el caso del pino silvestre se debe a la delimitación previa de unidades territoriales en las que quedan encuadrados todos aquellos rodales que por proximidad física muestran una patente uniformidad en su medio físico (estacionalmente homologables).

■ Referencias bibliográficas

- Alía R, García JM, Iglesias S, Mancha JA, De Miguel J, Nicolás JL, Pérez-Martín F, Sánchez de Ron D (2009) *Regiones de procedencia de especies forestales en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid
- Alonso R, Sánchez O, Roig S, López E, Gandullo JM (2010) *Las estaciones ecológicas actuales y potenciales de los sabinares albares españoles*. Monografía INIA, Serie Forestal 19. INIA, Madrid
- Gandullo JM (1985) *Ecología vegetal*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid
- Gandullo JM, Sánchez O (1994) *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. ICONA, Madrid
- Gómez V, Elena R (1997) Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. *Cuadernos de la SECF* 4:13-25
- Gracia C, Gil L, Montero G (2005) Impactos sobre el sector forestal. En: Moreno JM, coordinador. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. pp. 399-435
- MAGRAMA (2012) *Informe anual. Situación del Registro y Catálogo Nacional de Materiales de Base*. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/recursos-geneticos/recursos-geneticos-forestales/rgf_catalogo_materiales_base.aspx Última consulta 30 de noviembre de 2013
- Nicolás JL, Iglesias S (2012) Normativa de comercialización de los materiales forestales de reproducción. En: Pemán J, Navarro RM, Nicolás J, Prada MA, Serrada R, coordinadores. *Producción y manejo de semillas y plantas forestales. Tomo I. Naturaleza y Parques Nacionales. Serie Forestal*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. pp. 3-35
- Russell JS, Moore AW (1968) Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data. *Proceedings of the 9th International Congress of Soil Science* 4:205-213
- Serrada R, Aroca MJ, Roig S, Bravo A, Gómez-Sanz V (2011) *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid
- Thornthwaite CW, Mather JR (1957) *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances*. Centerton, New Jersey
- Walter H, Lieth H (1960) *Klimadiagramm Weltatlas*. Gustav Fischer, Jena