



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1923

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Más allá de la protección del suelo: el valor de las repoblaciones históricas como sumideros de carbono en la Región de Murcia

ROJO NÚÑEZ, I. (1), JORDÁN GONZÁLEZ, E. (2), AGUADO LÓPEZ, M. (2), GARCÍA LÓPEZ, R. (2) y GARCÍA RODRÍGUEZ, J. (1)

7,

(1) Subdirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Dirección General de Patrimonio Natural y Acción Climática de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

(2) Ingeniería del Entorno Natural.

Resumen

Las repoblaciones forestales históricas en la Región de Murcia se iniciaron en Sierra Espuña en el año 1891, lideradas por el ingeniero de montes Ricardo Codornú Stárico y José Musso Moreno. Este proyecto fue impulsado con el objetivo principal de frenar la erosión del suelo y detener las graves inundaciones que afectaban a la zona, como la Riada de Santa Teresa de 1879, que dio lugar al Congreso Contra Las Inundaciones de la Región de Levante celebrado en 1885. Este acto significó el punto de inicio de un proceso repoblador impulsado por **Musso y Codornú**, a las que se sumaron posteriores actuaciones que finalizaron en 1985, alcanzando un total de 52.488 ha de origen antropógeno en la Región de Murcia.

En este artículo se ofrecen datos sobre el secuestro de carbono que han generado en los almacenes del sistema aéreo y radicular del sumidero forestal estas repoblaciones históricas, también se diagnostica el vigor y la garantía de permanencia a largo plazo de este sumidero. La cuantificación del sumidero de carbono originado por Ricardo Codornú y que su permanencia a largo plazo depende de una correcta gestión selvícola se realiza para el período comprendido desde el inicio de este proceso repoblador en la época de Ricardo Codornú, hasta la actualidad. Según la investigación realizada, en la actualidad se contabiliza una acumulación de 2.362.273 créditos de CO₂ atribuida exclusivamente a las repoblaciones forestales históricas.

Palabras clave

Sierra Espuña, Ricardo Codornú, *Pinus halepensis*, servicios ecosistémicos, mitigación, CO₂, Restauración.

1. Introducción

En la segunda mitad del siglo XX se llevaron a cabo extensas repoblaciones en el SE de la Península Ibérica, utilizando casi exclusivamente el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) por la gran capacidad de arraigo y desarrollo en terrenos muy degradados donde otras especies no tenían asegurado su éxito. El objetivo de las mismas era recuperar una cierta cubierta arbórea, desaparecida como consecuencia de diferentes usos y perturbaciones (MAESTRE et al, 2004). Se utilizó esta especie ya que, en medios semiáridos, se consideraba que los bosques de pinos constituían la vegetación potencial o el máximo forestal que podía conseguirse bajo estas condiciones edafoclimáticas (RUIZ, 1973). Y, actualmente, el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es la especie forestal más abundante en la parte occidental de la cuenca mediterránea, donde ocupa unos 3,5 millones de hectáreas



y domina las formaciones arbóreas en zonas secas y semiáridas.

En Región de Murcia, fue el ingeniero de montes Ricardo Codornú quién, hacia el año 1889, comenzó a reflexionar sobre la necesidad de realizar plantaciones en Sierra Espuña (Región de Murcia), pero con el objetivo principal de frenar la erosión del suelo y detener las graves inundaciones que afectaban a la zona, como la Riada de Santa Teresa de 1879. Finalmente, la repoblación de Sierra Espuña fue llevada a cabo entre 1891 y 1905, y en total se repoblaron más de 5.000 ha con pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) como especie más abundante, acompañado de encinas (*Quercus ilex* L.) y diferentes especies arbustivas mediterráneas (Gutiérrez, s.f.).

Este acto significó el punto de inicio de un proceso repoblador impulsado por Codornú y , ya que 20 años después (aproximadamente en 1917) comenzarían las repoblaciones también en El Valle (ciudad de Murcia) y continuarían por el resto de la Cuenca del Guadalentín (Gutiérrez, s.f.).

Las actuaciones de reforestación finalizaron hacia 1985, alcanzando un total de 52.488 ha de origen antropógeno en la Región de Murcia. Indicar que algunos años después, durante la década de los 90 del pasado siglo se realizaron repoblaciones sobre terrenos agrícolas, que también han sido incluidas en este estudio.

Estas repoblaciones, de manera general, han sido criticadas por las escasas especies seleccionadas para ellas o por la alta densidad de las plantaciones. Y, pese a su magnitud y a la sensibilidad de estas zonas a la desertificación, hasta la fecha no se dispone de una revisión exhaustiva de las consecuencias de estas repoblaciones y una evaluación objetiva del éxito conseguido en la restauración de estos ecosistemas (MAESTRE et al, 2004). Sin embargo, resultaron ser efectivas en cuanto a la retención de suelo, la disminución de la erosión hídrica, e incluso en cuanto a la generación de servicios ambientales, como el secuestro de carbono. Sin lugar a dudas, en los eventos extremos de precipitaciones torrenciales, estas repoblaciones históricas ubicadas en cuencas hidrológicas de alto riesgo para la población, han generado un incalculable servicio de protección para los ciudadanos. Los trabajos de restauración hidrológico forestal a los que se encuentran vinculadas las repoblaciones históricas, han mostrado en numerosas ocasiones su funcionalidad y defensa de los ciudadanos en momentos clave.

Pero en las últimas décadas se ha incorporado un inesperado objetivo climático a estos trabajos históricos: servir como sumidero de carbono para la mitigación del cambio climático. Es sabido que las masas forestales actúan como grandes sumideros de CO₂, disminuyendo su cantidad en la atmósfera y reduciendo el efecto invernadero, lo que favorece a su vez la mitigación del cambio climático.

La gestión forestal es crucial para mantener los objetivos iniciales de control hidrológico para la defensa de ciudades, el incremento de la absorción antropogena neta de créditos de carbono e incluso la permanencia a largo plazo de estas formaciones.

Por ello, en este trabajo evalúa el sumidero de carbono que presentan las repoblaciones históricas en la Región de Murcia, pero también hace un diagnóstico del vigor actual y propone una obligatoria gestión forestal selvícola, de manera que se pueda garantizar su permanencia. A pesar de las herramientas de gestión selvícola al alcance del gestor, cientos de hectáreas de repoblaciones forestales históricas han desaparecido en la última década, por lo que el sumidero de carbono del estrato arbóreo se encuentra en retroceso.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo persiguen cuantificar la superficie y el sumidero de carbono de las repoblaciones históricas de la Región de Murcia iniciadas por Ricardo Codornú. Adicionalmente, diagnóstica el estado sanitario en el que se encuentran estas formaciones de carácter mediterráneo y anima a los gestores de *Pinus halepensis* en el ámbito mediterráneo a planificar una gestión adaptativa adecuada para mantener este capital natural. Concretamente se sintetizan los objetivos en los siguientes:

- Cuantificar la superficie de repoblaciones históricas realizadas en la Región de Murcia con objetivos iniciales de restauración hidrológico forestal y actuales como sumidero de carbono.
- Determinar el secuestro de carbono proporcionado por estas repoblaciones históricas ejecutadas en la región de Murcia.
- Identificar las amenazas desde el punto de vista de sanidad forestal para la permanencia a largo plazo del carbono secuestrado por ellas.
- Establecer unas directrices generales para garantizar la permanencia de este sumidero de carbono a largo plazo en el área de distribución de *Pinus halepensis* en área mediterránea.

3. Metodología

• Superficie histórica repoblada en la Región de Murcia

Para la evaluación de las superficies forestales repobladas se ha utilizado la información proporcionada por el Cuarto Inventario Forestal Nacional de la Región de Murcia (DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL Y POLÍTICA FORESTAL y CIFOR-INIA, 2012. IFN4 en adelante). Este conjunto de datos se ha procesado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar y clasificar las áreas forestales según su origen (repoblación o natural), ubicación geográfica y extensión geográfica.

Seguidamente se han seleccionado los rodales de repoblación, identificados en la cobertura del IFN4 como “Bosque de plantación”. Y se ha realizado una revisión para comprobar que los rodales seleccionados coinciden con la realidad de las masas forestales observadas en campo, que actualmente se encuentran naturalizadas. Después de realizar las correspondientes correcciones, se ha obtenido la superficie histórica repoblada en la Región de Murcia.

• Formaciones objeto del estudio

En el conjunto de la superficie repoblada, se diferencian diferentes formaciones que son objeto de estudio. Un resumen de las mismas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Formaciones forestales objeto de estudio de la Región de Murcia.

Espece IFN4	Formación arbórea
23	Pinar de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)
24	Pinar de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)
25	Pinar de pino salgareño (<i>Pinus nigra</i>)
31	Bosques mixtos de frondosas autóctonas en región biogeográfica mediterránea

Especie IFN4	Formación arbórea
33	Bosque ribereño
35	Acebuchales (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)
44	Choperas y plataneras de producción
46	Coníferas autóctonas de gestión (<i>Cupressus spp.</i> , <i>Cedrus spp.</i> , otros pinos, etc.)
52	Algarrobales (<i>Ceratonia siliqua</i>)
57	Eucaliptales
61	Pinar de <i>P. pinaster</i> en región mediterránea
65	Mezcla de coníferas autóctonas con alóctonas
66	Mezcla de coníferas con frondosas, autóctonas con alóctonas
393	Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea
403	Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea

- **Estimación del secuestro de carbono**

Para la estimación del carbono fijado por las repoblaciones de la Región de Murcia se ha partido de la información recogida en el IFN4, donde se recoge la estimación del carbono fijado por el sistema aéreo y radicular de las formaciones forestales arboladas murcianas, a partir de la biomasa arbórea procedente de pies con diámetro normal superior a 7,5 cm.

Posteriormente, se ha utilizado esta información para estimar el secuestro de CO₂ en la superficie histórica repoblada de cada una de las formaciones estudiadas en función de la superficie ocupada. Los ratios de secuestro de carbono por hectárea se han obtenido de las bases de datos del IFN4, mientras que para la conversión de valores de C a CO₂ se ha realizado la conversión teniendo en cuenta los pesos moleculares de C y O.

- **Identificación de amenazas**

Es de interés evaluar el estado de conservación del sumidero de carbono forestal asociado a las repoblaciones históricas. En las últimas décadas se están observando acontecimientos climatológicos que suponen una importante amenaza para la conservación a largo plazo. Se han analizado indicadores relacionados con el decaimiento y la mortalidad forestal, considerando aquellos seleccionados en base a su capacidad para reflejar impactos ecológicos relevantes. Los criterios de selección incluyen su sensibilidad a las condiciones climáticas, su disponibilidad a escala regional y su respaldo en la literatura científica. Entre los indicadores más relevantes, destacaron para el diagnóstico del decaimiento los siguientes:

- Registro del estado sanitario de las formaciones forestales arbóreas, de acuerdo con variables como coloración de copa y presencia de áreas con mortalidad de pies. Desde el año 2013 se viene realizando en la Región de Murcia un inventario continuo de los rodales de arbolado forestal afectado por mortalidad. En este registro se incluyen tanto superficies repobladas como naturales, y se registra a pie de monte la superficie afectada, la densidad de masa arbórea y el porcentaje de árboles muertos. Los registros de monte son volcados a una base de datos geográfica.
- Evoluciones históricas de índices de vigor (NDVI, GDVI, NBR) en la totalidad de la Región de Murcia. Se han elaborado diferentes aplicaciones informáticas para obtener series temporales de índices de vigor a nivel municipio, a nivel de espacio natural protegido y a nivel monte.



Enfrentando la información de los registros sanitarios de mortalidad como consecuencia de cambio climático, con los valores de los índices de vigor se han establecido umbrales de ocurrencia de mortalidad. En el caso de este artículo se ha empleado el NDVI, donde metodológicamente se ha considerado que la formación de *Pinus halepensis* que es la más representativa en términos de superficie en la Región de Murcia, con valores de NDVI inferiores a 0,20 de este índice automáticamente las formaciones entran en mortalidad y por lo tanto no garantizan la permanencia a largo plazo de las repoblaciones históricas iniciadas por Ricardo Codornú.

El análisis se ha enfocado en las características propias de los ecosistemas mediterráneos, destacando su vulnerabilidad ante el cambio climático debido a la combinación de altas temperaturas, escasez hídrica y eventos climáticos extremos. Se han considerado los patrones históricos de precipitación y temperatura para contextualizar los impactos observados en las formaciones forestales. Por otra parte, se ha tenido en cuenta que el estado sanitario de las masas forestales se vincula con este tipo de índices (Esteve et al, s.f.). En este trabajo también se ha comprobado que existe una alta correlación entre el estado sanitario de las masas forestales y los valores de los índices de vigor que con más frecuencia se utilizan en estudios forestales.

Concretamente, se ha evaluado el estado sanitario en el que se encuentran las repoblaciones históricas de Ricardo Codornú empleando el siguiente indicador del grado de decaimiento:

- Grado de decaimiento alto: áreas caracterizadas por al menos un evento de mortalidad del estrato arbóreo con daños significativos mayores al 0,5% de los pies durante el periodo 2014-2024. Contabilización habitual de registros de NDVI < 0,20 en las series temporales.
- Grado de decaimiento medio: áreas caracterizadas por al menos un evento de mortalidad del estrato arbóreo con daños no significativos menores al 0,5% de los pies durante el periodo 2014-2024. Contabilización esporádica de registros de NDVI < 0,20 en las series temporales.
- Grado de decaimiento bajo: áreas caracterizadas por ausencia de eventos de mortalidad del estrato arbóreo durante el periodo 2014-2024. Registros habituales en las series temporales de NDVI > 0,30 en las épocas de mayor estrés.

En cada uno de estos grados de decaimiento de las repoblaciones históricas, se deben tomar diferentes decisiones encaminadas a la gestión futura para garantizar la permanencia de estos sumideros. Así, se ha conseguido obtener una clasificación del decaimiento, necesaria para analizar la capacidad de permanencia del carbono fijado por las repoblaciones históricas de la Región de Murcia.

4. Resultados

• Superficie histórica repoblada en la Región de Murcia

En la siguiente tabla se muestra la superficie de las repoblaciones realizadas por José Musso y Ricardo Codornú y las realizadas en décadas posteriores, así como la superficie total repoblada, para cada una de las formaciones arbóreas estudiadas.

Tabla 2. Superficie histórica repoblada de la Región de Murcia.

Formación arbórea	Superficie plantaciones Codornú (ha)	Superficie plantaciones posteriores Codornú (ha)	Total repoblado (ha)
Pinar de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)		1,31	1,31
Pinar de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	4.783,69	44.390,59	49.174,28
Pinar de pino salgareño (<i>Pinus nigra</i>)		148,09	148,09
Bosques mixtos de frondosas autóctonas en región biogeográfica mediterránea		34,27	34,27
Bosque ribereño		18,65	18,65
Acebuchales (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)		975,23	975,23
Choperas y plataneras de producción		74,63	74,63
Coníferas alóctonas de gestión (<i>Cupressus</i> spp, <i>Cedrus</i> spp. otros pinos, etc.)		98,98	98,98
Algarrobales (<i>Ceratonia siliqua</i>)		42,27	42,27
Eucaliptales		16,19	16,19
Pinar de pino pinaster en región mediterránea	49,32	269,88	319,19
Mezcla de coníferas autóctonas con alóctonas		27,25	27,25
Mezcla de coníferas con frondosas, autóctonas con alóctonas		68,48	68,48
Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea	25,50	814,62	840,12
Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea		648,99	648,99
Total plantaciones (ha)	4.858,51	47.629,42	52.487,92
Total plantaciones (%)	9,26	91,74	100,00

La superficie total repoblada históricamente en la Región de Murcia asciende a **52.487,92 ha**, de las cuales 4.858,51 se corresponden con las promovidas por el célebre ingeniero de montes y ecologista, suponiendo el 9,26% del total de superficie repoblada. Por otro lado, la superficie repoblada en décadas posteriores supone un 90,74% de la superficie total repoblada. El ámbito territorial de las repoblaciones de Ricardo Codornú no es excesivamente amplio en relación con la superficie total repoblada, pero sin duda alguna animó de forma determinante el desarrollo de las futuras repoblaciones. De este modo, teniendo en cuenta que la superficie forestal arbolada total de la Región de Murcia, de acuerdo con el INF4, es de 308.028,48 ha (deduciendo la superficie desarbolada temporalmente), la superficie forestal originada en repoblaciones forestales supone el **17,04%** de la misma.

No puede pasar desapercibida la amplia superficie repoblada con *Pinus halepensis*, que alcanza el 93,68% de la superficie histórica. De forma natural también es la especie más abundante en la Región de Murcia. Esto motiva que los

trabajos de monte para evaluar el decaimiento o estado sanitario, los diagnósticos de herramientas satelitales y las propuestas selvícolas garantizar la permanencia a largo plazo de las superficies forestales de la Región de Murcia se refieran principalmente a la especie *Pinus halepensis*.

- **Estimación del secuestro de carbono**

Se muestra ahora, en la siguiente tabla, la estimación del secuestro de CO₂ para estas mismas superficies y formaciones.

Tabla 3. Estimación del secuestro de CO₂ de la superficie histórica repoblada de la Región de Murcia.

Formación arbórea	Secuestro CO ₂ plantaciones Codorníu (t/ha)	Secuestro CO ₂ plantaciones posteriores Codorníu (t/ha)	Secuestro CO ₂ (t)
Pinar de pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)		55,91	55,91
Pinar de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	211.734,35	1.964.804,93	2.176.539,28
Pinar de pino salgareño (<i>Pinus nigra</i>)		13.978,84	13.978,84
Bosques mixtos de frondosas autóctonas en región biogeográfica mediterránea		1.847,74	1.847,74
Bosque ribereño		274,29	274,29
Acebuchales (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)		52.588,82	52.588,82
Choperas y plataneras de producción		4.024,51	4.024,51
Coníferas alóctonas de gestión (<i>Cupressus spp.</i> , <i>Cedrus spp.</i> , otros pinos, etc.)		4.234,70	4.234,70
Algarrobales (<i>Ceratonia siliqua</i>)		2.279,27	2.279,27
Eucaliptales		873,09	873,09
Pinar de pino pinaster en región mediterránea	4.600,64	25.176,08	29.776,72
Mezcla de coníferas autóctonas con alóctonas		1.165,72	1.165,72
Mezcla de coníferas con frondosas, autóctonas con alóctonas		3.692,82	3.692,82
Mezcla de coníferas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea	1.091,09	34.853,76	35.944,85
Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en la región biogeográfica mediterránea		34.996,58	34.996,58
Total	217.426,08	2.144.847,06	2.362.273,14

Como se puede observar, las zonas repobladas de la Región de Murcia han secuestrado un total de **2.362.273,14 t de CO₂**, de las que 217.426,08 t se corresponden con las repoblaciones impulsadas por Codorníu. Por tanto, el secuestro de CO₂ de la superficie repoblada constituye el **16,32%** del total regional.



Según se expone en párrafos anteriores, la superficie forestal arbolada procedente repoblación este un 17,04%, lo que viene a demostrar que los terrenos repoblados están secuestrando actualmente un nivel de carbono en su sistema aéreo y radicular muy similar al de las formaciones arbóreas naturales.

En la siguiente tabla se estima la proporción de CO₂ secuestrado por las repoblaciones, tanto las impulsadas por Codornú como las posteriores, en comparación en el resto de las formaciones arboladas naturales.

Tabla 4. Estimación de la proporción del secuestro de CO₂ por las masas forestales de la Región de Murcia.

Origen del carbono forestal arbóreo	Secuestro CO ₂ (t)	Secuestro CO ₂ (%)
Repoblaciones de Musso y Codornú	217.426,08	1,50%
Repoblaciones posteriores a Musso y Codornú	2.144.847,06	14,82%
Formaciones naturales	12.113.545,55	83,68%
Total	14.475.818,68	100,00%

- **Amenazas para la permanencia de los almacenes de carbono**

Sin embargo, la permanencia de este almacén de carbono se ve gravemente amenazada por los conocidos efectos del cambio climático, tales como el aumento de las temperaturas, sequías cada vez más frecuentes y acusadas, incremento de la vulnerabilidad a plagas, etc.

En la Región de Murcia, en los últimos lustros, se han registrado dos grandes episodios de sequía, uno entre 1994 y 1996 que afectó a 17.000 ha y 800.000 pies, y otro entre 2014 y 2017, que llegó a afectar a 16.000 ha y 1.200.000 pies, en su gran mayoría de *Pinus halepensis* Mill. Y, recientemente, se ha producido un tercer episodio, ya que las precipitaciones acumuladas en la Región desde el 1 de octubre de 2023 hasta el 30 de septiembre de 2024 fueron de 136,8 l/m², lo que supone el 43% del valor normal para todo el año hidrológico, otorgando un carácter extremadamente seco, el más seco de la serie en los últimos 63 años, tal y como se informó desde AEMET. Sin duda alguna, los periodos secos intensos y prolongados, así como las anomalías térmicas positivas, están suponiendo una grave amenaza para el arbolado, ya que provocan una reducción significativa del agua disponible para que los árboles puedan desarrollar sus funciones fisiológicas. Según la información pública generada por el Gobierno Regional de la Región de Murcia, este evento de sequía del año 2024 ha alcanzado ya 1.050.000 árboles distribuidos en 26.000 ha de *Pinus halepensis*.

Los datos de mortalidad registrados de forma continua, han sido completados con series temporales del índice de vigor NDVI. Estos índices de vigor se han calculado para toda la Región de Murcia, mostrando en la siguiente figura un ejemplo de un monte representativo de Sierra Espuña. Se observa como el índice NDVI principalmente durante el año 2024 alcanza valores de 0,20, umbral identificado claramente con la mortalidad generalizada.

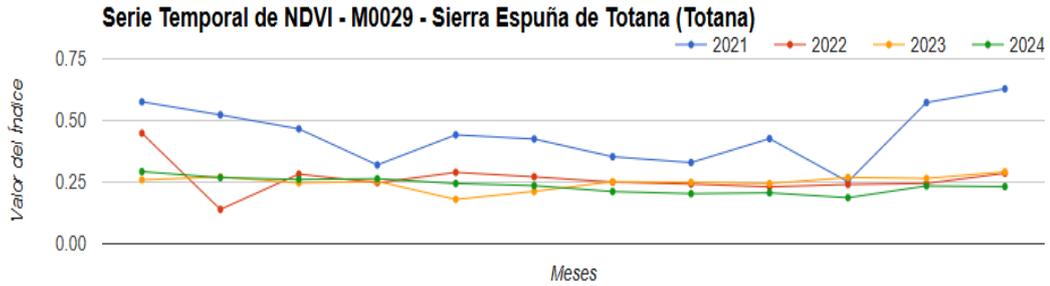


Figura 1. Serie temporal NDVI 2021-2024 para el monte Sierra Espuña de Totana. Monte con repoblaciones representativas de Ricardo Codornú.

Los episodios de sequía extrema están relacionados con la proliferación de plagas forestales y los episodios de decaimiento que sufren las masas forestales (Esteve et al, s.f.) y, analizando la evolución de índices de vigor y aplicando una modelización predictiva tal, es posible establecer una zonificación regional relativa al grado o nivel de decaimiento existente actualmente en cada una de las zonas establecidas como homogéneas.

De esta manera, combinando los registros históricos de afección por mortalidad como consecuencia del cambio climático y los índices de vigor obtenidos empleando herramientas satelitales se ha elaborado la figura, en la que se muestra la estimación del nivel de decaimiento en el que se engloban las repoblaciones murcianas.

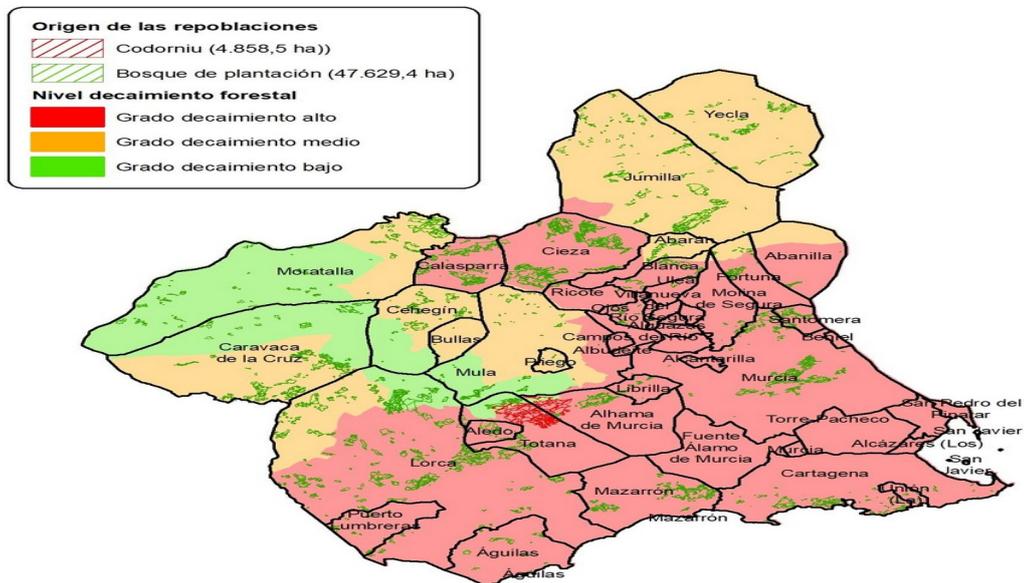


Figura 2. Nivel de decaimiento en el que se engloban las masas forestales repobladas de la Región de Murcia.

A continuación, se recoge en formato tabla el nivel de riesgo de decaimiento de las repoblaciones históricas regionales.

Tabla 5. Nivel de riesgo de las repoblaciones históricas regionales.

Diagnóstico decaimiento	Superficie (ha)	Superficie (%)
Nivel alto	32.162,04	61,28%
Nivel medio	14.248,34	27,15%
Nivel bajo	6.077,54	11,58%
Total	52.487,92	100,00%

Por tanto, se puede decir que la mayor parte repoblaciones históricas murcianas (**61,28%**) presentan un alto nivel de decaimiento, hecho que pone de manifiesto la amenaza que supone el cambio climático para los sumideros de carbono regionales y la necesidad de adoptar medidas dirigidas a la preservación de los mismos.

5. Discusión

Los resultados evidencian que las repoblaciones existentes en la Región de Murcia son capaces de secuestrar en torno al 16,32% del carbono fijado por la totalidad de las masas forestales arboladas murcianas, una proporción nada desdeñable.

Además, ese carbono fijado sigue creciendo, aunque aún ritmo relativamente lento. No obstante, una manera de “acelerar” el secuestro de carbono en cada uno de los almacenes, vegetal y en suelo, es realizar una adecuada gestión forestal. Según los datos obtenidos en el proyecto LIFE FOREST-CO₂, en el que la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia participó como coordinador, las actuaciones selvícolas pueden proporcionar una absorción antropógena neta estimada aproximadamente en 1 crédito/ha-año.

Es sabido que, en el ámbito mediterráneo, la selvicultura adaptativa garantiza la permanencia de las masas forestales, pues se trata de una selvicultura cuyos principios persiguen reducir la vulnerabilidad de las masas a los impactos del cambio climático y a potenciar su resiliencia y su capacidad de adaptación (LINDNER et al, 2010, GARCÍA-GÜEMES y CALAMA, 2014). Por otra parte, dado el alto grado de amenaza que presentan estas masas repobladas murcianas, puede que la selvicultura convencional no sea capaz de resolver todas las necesidades que presentan y sea urgente la aplicación de una selvicultura adaptativa en la mayor parte de la superficie repoblada.

De hecho, el seguimiento llevado a cabo sobre estas masas forestales permite establecer una división de las mismas atendiendo a su estado de conservación y a la necesidad de gestión que presentan. De este modo, en algunas zonas las masas reforestadas se encuentran en un estado razonablemente bueno, presentando un nivel de decaimiento bajo asociado a una necesidad relativamente baja de aplicar en ellas selvicultura adaptativa.

También se han observado masas repobladas con una necesidad media de actuación y otras con una necesidad alta de actuación, en las que urge la aplicación



de técnicas de silvicultura de adaptación al cambio climático. Estas zonas se han clasificado con un nivel de decaimiento medio, donde es razonable llevar a cabo tratamientos silvícolas para garantizar la permanencia del estrato arbóreo durante las próximas décadas.

Y, finalmente, se han identificado zonas en las que, con gran probabilidad, la silvicultura adaptativa no sea capaz de solventar los graves problemas que presentan. En este último grupo se engloban aquellas masas repobladas que han alcanzado ya un estado “post-halepensis”, como sucede en determinadas zonas de los municipios de Mazarrón, Águilas y Alhama de Murcia, y, lamentablemente, se considera que no existen garantías de preservación para ellas. Se trata de áreas con decaimiento alto, donde la aplicación de técnicas de silvicultura adaptativa no va a generar garantías de permanencia a largo plazo. Por supuesto que, en las áreas con mayor vigor, es sumamente urgente ejecutar tratamientos silvícolas con fines ecohidrológicos, diversificación estructural de edades, diversificación florística, etc. Pero también hay que tener en cuenta que, en determinadas áreas con decaimiento intenso, bajo condiciones fisiográficas y climáticas desfavorables, la recuperación del vigor es sumamente compleja. Técnicamente lo más razonable es apostar por la gestión de matorrales de alto valor forestal. Ante las incertidumbres de los distintos futuros escenarios climáticos, no nos podemos cerrar de antemano a establecer unos modelos fijos de masas forestales. La dinámica y evolución, tanto de los ecosistemas como de los escenarios climáticos, determinarán el tipo de masa forestal mejor adaptada a las condiciones ambientales venideras.

No obstante, **en la gran mayoría de las masas repobladas es posible adoptar medidas dirigidas garantizar su conservación a largo plazo.** Entre estas medidas, se consideran de gran interés las siguientes:

- **Silvicultura adaptativa**

Considerando los beneficios expuestos anteriormente sobre este tipo de silvicultura, se propone que se contemplen técnicas que permitan:

- Silvicultura eco-hidrológica: en un contexto de déficit hídrico, lo más razonable es garantizar la disponibilidad de agua por parte de los árboles que conforman las formaciones arbóreas.
- Silvicultura para la diversificación de las formaciones arbóreas y de matorral: especies vegetales y edades de las mismas (incorporando otras especies mejor adaptadas a condiciones severas de sequía y de temperaturas). La apertura de huecos para favorecer la presencia de especies arbóreas o de matorral, así como la presencia de diferentes clases de edad, favorece notablemente el comportamiento frente a eventos extremos de sequía.
- La regulación de la competencia sobre el estrato arbóreo: el manejo de densidades se está evidenciando en los últimos episodios de sequía como una variable de interés. En áreas con control de competencia se reduce notablemente el riesgo de mortalidad del arbolado.



- El impulso de la regeneración natural a edades tempranas: la reducción de turnos en la silvicultura de regeneración constituye un mecanismo facilitador de la regeneración natural. En *Pinus halepensis*, es recomendable aplicar turnos coherentes con la calidad de estación, de modo que en aquellas calidades de estación peores los turnos no rebasen los 90 años.

- **Hidrología**

El incremento de las lluvias torrenciales, que es otro de los efectos destacables del cambio climático sobre todo en la región mediterránea, ligado a pérdidas de la cobertura vegetal producidas por diversos factores, puede suponer un incremento en la erosión de los suelos, contribuyendo a su pérdida y, por consiguiente, a las reservas de carbono de los mismos.

A este respecto, la construcción de infraestructuras hidrológicas, tipo muros, albarradas microcuencas y otras, permiten la retención de agua y suelo, minimizando la erosión y, además, favorecen la creación de ambientes favorables para el desarrollo de vegetación autóctona.

- **Conservación de suelos**

Los efectos esperados del cambio climático en la degradación del suelo afectan a las propiedades hidrofísicas del suelo: la pérdida de materia orgánica del suelo (MOS), debido al aumento de la tasa de descomposición o erosión, conducirá a la compactación del suelo. También afectan a la composición y los niveles de nutrientes del suelo: los cambios en la precipitación y la temperatura podrían afectar las reservas de nutrientes del suelo de diferentes maneras. El cambio climático repercute también en la biota del suelo de diferentes maneras, como alterar la composición, abundancia y actividad de las especies. Y en el calentamiento del suelo: diferente sensibilidad climática de la materia orgánica del suelo según su forma y características.

6. Conclusiones

Las repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill. llevadas a cabo en la Región de Murcia, ocupan una superficie total de 52.488 ha y, además de proporcionar protección al suelo de la erosión y favorecer el control hidrológico, son capaces de secuestrar 2362.273 t de CO₂, lo que supone más del 16% del carbono total fijado por las formaciones forestales arboladas murcianas.

Sin embargo, las características del clima mediterráneo en el SE peninsular, con gran incidencia del cambio climático y cuyos efectos más relevantes son las anomalías térmicas y las sequías acusadas y repetidas, suponen una grave amenaza para la permanencia de los almacenes de carbono en estas masas repobladas, estimándose que más del 61% de las masas forestales repobladas presentan un nivel alto de decaimiento.



En este sentido, se ha demostrado que, en el ámbito mediterráneo, la silvicultura adaptativa puede garantizar la permanencia de las masas forestales, por lo que la aplicación de este tipo de técnicas de gestión forestal puede asegurar la preservación de la mayor parte de estas masas repobladas y, con ello, conservar e incluso aumentar su capacidad de secuestrar carbono. No obstante, se han identificado masas repobladas que han alcanzado ya un **estado post-halepensis**, existiendo muchas dudas para ellas de tener garantías de preservación.

Las actuales condiciones climáticas, exigen que, en áreas mediterráneas de clima extremo, se desarrollen trabajos complementarios de hidrología y conservación de suelos, para mejorar la calidad de estación de los pinares regionales que proceden de repoblación y que actualmente sustentan el 16,32% del carbono forestal arbóreo de la Región de Murcia.

7. Agradecimientos

A Ricardo Codornú y José Musso, iniciadores e impulsores de las repoblaciones forestales históricas en la Región de Murcia.

8. Bibliografía

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL Y POLÍTICA FORESTAL; CIFOR-INIA; 2012. *Cuarto Inventario Forestal Nacional. Región de Murcia. MAGRAMA 4* 1-45.

ESTEVE, M. Á.; CARREÑO, M. F.; MOYA, J. M.; MONTOYA, P.; MARTÍNEZ, J.; PÉREZ, M. Á.; LLORET, F.; s.f. Respuesta de los bosques de *Pinus halepensis* del sureste ibérico al cambio climático: los eventos de sequía extrema. *Univ. Murcia, Fund. Nueva Cult. Agua, CREAM* 1–15.

GARCÍA-GÜEMES, C.; CALAMA, R.; 2014. La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. *MAGRAMA* 501–510.

GUTIÉRREZ, E.; s.f. Las repoblaciones de Ricardo Codornú en Murcia se aclimatan frente al cambio global. *Dpto. Biol. Evol. Ecol. Cienc. Ambient., Secc. Ecol., Univ. Barcelona* 1–10.

LINDNER, M.; MAROSCHEK, M.; NETHERER, S.; KREMER, A.; BARBATI, A.; GARCIA-GONZALO, J.; SEIDL, R.; DELZON, S.; CORONA, P.; KOLSTRÖM, M.; LEXER, M. J.; MARCHETTI, M.; 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manag* 259 698–709.

MAESTRE, F. T.; CORTINA, J.; GIL, F.; 2004. Repoblaciones de *Pinus halepensis* y restauración de ecosistemas en medio semiárido. *Cuad. Soc. Esp. de Cienc. For.* 17 43–54.



RUIZ DE LA TORRE, J.; 1973. Significación de los pinares xerófilos. *Vida Silv.* 6 108-113.