

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO:

D1.1. Informe del efecto ambiental de las acciones del proyecto



Enero de 2026

FUNGOBE. 2026. Informe del efecto ambiental de las acciones del proyecto. Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid.

Este documento ha sido elaborado por:

Eduard Caballol, Jordi Vayreda, Carles Batlles y Lluís Comas (CREAF)

Fotografía: Pinar de pino laricio en el Parc Natural dels Ports, Tarragona. Foto: Jordi Vayreda.

LIFE RedBosques_Clima (LIFE20 CCA/ES/001624)

Financiado por la Unión Europea a través del programa LIFE20 Climate Action

Duración: septiembre 2021 – agosto 2025

Coordinador: Fundación Fernando González Bernáldez

Socios: Generalitat de Catalunya, CREAM, Generalitat Valenciana, VAERSA, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Gobierno Vasco

www.RedBosquesclima.eu

Puede enviar sus comentarios a RedBosques@fungobe.org

Este material refleja el punto de vista de los autores. La Comisión/CINEA no es responsable del uso que se pueda hacer de esa información o de su contenido.

Contenido

Introducción.....	4
Objetivos.....	8
Metodología	9
Secuestro de CO ₂	11
Estabilidad	11
Protección contra incendios forestales	11
Protección del suelo contra la erosión	12
Estado de salud	13
Mejora del hábitat para especies saproxílicas	14
Índice de sequía.....	14
Antecedentes	17
Resultados	25
Caso demostrativo 1: Creación de un mosaico en el Parc Natural dels Ports	25
Vallcervera actuación 1 EO01	25
Vallcervera actuación 2 PS02.....	28
Vall Figuera.....	31
Caso demostrativo 2: Incremento de la heterogeneidad de repoblaciones de <i>Pinus pinaster</i> en la Comunidad Valenciana.....	34
Aitana	34
Alpuente	37
Barraques.....	40
Caso demostrativo 3: Incremento de la diversidad en repoblaciones de <i>Pinus sylvestris</i> en el Parque Natural de la Sierra Norte de Guadalajara.....	43
Cantón 29	43
Conclusiones generales	46
Secuestro de CO ₂	46
Estabilidad	46
Protección contra incendios forestales	46
Protección del suelo contra la erosión	47
Estado de salud	47
Mejora del hábitat para especies saproxílicas	47
Vulnerabilidad a la sequía	48

Resumen ejecutivo

En este informe se evalúan los cambios en los indicadores ambientales (IA) en todos los rodales forestales donde se han implementado las acciones C3, C4 y C5. Esta evaluación se ha llevado a cabo utilizando la información recopilada en 81 parcelas (acción C6) durante dos campañas de muestreo: antes de los tratamientos y justo después de los tratamientos, así como tras, al menos, un año, con el fin de evaluar sus efectos sobre los IA. Más allá del periodo del proyecto, también está previsto muestrear las parcelas cinco años después de los tratamientos.

Las variables de las parcelas de muestreo obtenidas en el marco de la acción B6 incluyen todos los datos de campo necesarios para calcular el conjunto de indicadores ambientales utilizados para evaluar el efecto de los tratamientos selvícolas sobre la capacidad adaptativa del bosque en términos de vitalidad, estado de salud, protección frente a la erosión del suelo y los incendios forestales de copas y, finalmente, vulnerabilidad a la sequía mediante el índice de sequía (acción C1).

Las actuaciones forestales en los tres casos demostrativos muestran efectos variados según el indicador ambiental analizado. En cuanto al secuestro de CO₂, se observa una reducción del stock de carbono debido a la extracción de madera, aunque su impacto climático depende del uso final de esta: puede considerarse emisión directa si se destina a biomasa energética, o almacenamiento temporal si se emplea en construcción o mobiliario. A medio plazo, el crecimiento acelerado de los árboles restantes incrementará significativamente la capacidad de secuestro. La estabilidad de la masa forestal se mantiene o mejora ligeramente al eliminar pies más esbeltos y vulnerables, y la protección frente a incendios también mejora en general al reducir la probabilidad de fuego de copas, con la excepción de un caso de baja intensidad de actuación donde este no era un objetivo prioritario.

Respecto al suelo, el riesgo de erosión aumenta inicialmente por la reducción del dosel, aunque se trata de una estimación máxima que no considera la vegetación residual que sigue protegiendo el terreno; además, se prevé que el cierre del dosel en 5–10 años restablezca la protección. El estado de salud del bosque se mantiene alto, con variaciones poco significativas, y se espera una mejora futura por la mayor disponibilidad de recursos. La cantidad de madera muerta, aunque baja, resulta suficiente para sostener especies saproxílicas si se mantiene en el tiempo. Finalmente, las actuaciones reducen ligeramente la vulnerabilidad a la sequía, principalmente al disminuir la competencia, y se prevén mejoras adicionales a medio plazo gracias a una mayor diversidad estructural, mejor regeneración y un posible aumento de especies más resistentes a la sequía.

Executive Summary

In this report, we assess changes in environmental indicators (EI) in all forest stands where actions C3, C4, and C5 were implemented. This assessment was carried out using information collected from 81 plots (action C6) during two sampling campaigns: before the treatments and immediately after the treatments, as well as after at least one year in order to evaluate their effects on the EI. Beyond the project timeframe, it is also planned to sample the plots five years after the treatments. The sampling plot variables obtained under action B6 include all the field data required to calculate the set of environmental indicators used to assess the effect of silvicultural treatments on forest adaptive capacity in terms of vitality, health, protection against soil erosion and crown wildfires, and finally, vulnerability to drought using the drought index (action C1).

The forest management actions in the three demonstration cases show varied effects depending on the environmental indicator analyzed. Regarding CO₂ sequestration, a reduction in carbon stock is observed due to timber extraction; however, its climatic impact depends on the final use of the wood. It can be considered a direct CO₂ emission if used for energy biomass, or temporary carbon storage if used in construction or furniture manufacturing. In the medium term, the accelerated growth of the remaining trees will significantly increase CO₂ sequestration capacity. The stability of the forest stands is maintained or slightly improved by removing more slender and vulnerable trees, and protection against wildfires generally improves by reducing the probability of crown fires, with the exception of one low-intensity intervention where this was not a priority objective.

With respect to soil, erosion risk initially increases due to canopy reduction, although this represents a maximum estimate that does not account for residual vegetation that continues to protect the ground. In addition, canopy closure within 5–10 years is expected to restore soil protection. Forest health status remains high, with only minor variations, and further improvement is expected as a result of increased resource availability. Although the amount of deadwood is low, it is sufficient to sustain saproxylic species if maintained over time. Finally, the interventions slightly reduce vulnerability to drought, mainly by decreasing competition, and additional medium-term improvements are anticipated due to greater structural diversity, improved regeneration, and a potential increase in species that are more resistant to drought.

Introducción

La mayor parte de los paisajes forestales están dominados por extensas superficies continuas de bosques jóvenes, densos y estructuralmente homogéneos, generalmente monoespecíficos y con escasa diversidad de edades y tamaños. Este tipo de masas presenta un estado de conservación desfavorable y una elevada vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, debido a su baja heterogeneidad estructural y funcional.

En este contexto, las medidas de adaptación forestal deben diseñarse teniendo en cuenta los escenarios climáticos previsibles y los principales riesgos asociados, así como los componentes estructurales y funcionales del bosque que confieren su mayor o menor resiliencia.

Desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático, la restauración y conservación de los ecosistemas forestales debe orientarse a promover paisajes más resilientes, es decir, capaces de absorber perturbaciones o recuperarse rápidamente en caso de daño severo. Este objetivo se concreta en la creación y mantenimiento de mosaicos de hábitats forestales y no forestales, con elevada diversidad estructural y funcional. A escala de paisaje, ello implica la coexistencia de rodales de distintas edades junto con zonas abiertas, como pastizales o matorrales. A escala local, supone fomentar la heterogeneidad estructural, la diversidad de especies en el dosel, la presencia de árboles de gran tamaño y la existencia de claros y discontinuidades.

Las principales **medidas de adaptación** que se aplican en los casos demostrativos analizados pueden definirse como una **selvicultura para la adaptación**. Esta selvicultura adaptativa incorpora objetivos explícitos de reducción de la vulnerabilidad frente al cambio climático y promoción de la resiliencia. Mediante tratamientos específicos adaptados a cada caso se busca reducir la competencia, mejorar el vigor del arbolado, influir en la composición específica y fomentar estructuras más heterogéneas, manteniendo la diversidad de especies, edades y tamaños.

Este informe resume los resultados de los indicadores ambientales de las actuaciones forestales llevadas en los casos demostrativos del proyecto LIFE RedBosques Clima (LIFE20 CCA/ES/001624). El proyecto tiene como objetivo principal mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático en los bosques mediante una gestión forestal con objetivos de mejora de la madurez con el aumento de la heterogeneidad estructural y la diversidad funcional.

Se implementaron tres acciones piloto con el objetivo de llevar a la práctica sobre el terreno las propuestas de gestión de adaptación diseñadas en el marco de este proyecto. Estas acciones permitieron evaluar, en cada caso, las ventajas y dificultades en la aplicación de los modelos de gestión, así como realizar una evaluación medioambiental de los mismos. Además, servirá como modelo para facilitar la replicabilidad en otras actuaciones forestales para distintos hábitats en distintos territorios.

Las acciones piloto desarrolladas han sido las siguientes:

Acción C3: Paisaje resiliente en el Parc Natural dels Ports (Tarragona): elaboración de la planificación forestal para generar un paisaje forestal en mosaico e implementación de varias medidas demostrativas, de forma participada con el conjunto de propietarios forestales.

Acción C4: Mejora de la capacidad de adaptación en repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana (Castellón, Valencia y Alicante): actuaciones selvícolas de incremento de la heterogeneidad estructural y diversificación del hábitat en varios pinares de repoblación muy vulnerables al cambio climático.

Acción C5: Restauración forestal para la adaptación al cambio climático en el Parque Natural Sierra Norte (Guadalajara): actuaciones selvícolas de incremento de la heterogeneidad estructural y diversificación del hábitat en masas de repoblación de pino silvestre y pino negro en zonas de alta montaña.

Las tres acciones han sido realizadas entre los años 2023 y 2025.

La evaluación se realizó mediante muestreo forestal con parcelas de campo en masas de tratamiento forestal y zonas de control adyacentes, lo que permitió cuantificar a escala de masa de forma objetiva y transferible:

- la estructura y composición del bosque (árboles) antes y después de las intervenciones.
- la estructura y composición de la vegetación del sotobosque antes y después de las intervenciones.

Se emplearon diversos métodos de muestreo para evaluar la estructura de la vegetación, garantizando así una cuantificación precisa de los indicadores de la estructura de la vegetación afectados por los tratamientos que sirvieron para calcular los indicadores medioambientales que se presentan en este informe.

Este enfoque constituye el marco conceptual que justifica la aplicación de los tratamientos analizados a continuación, orientados a reducir la vulnerabilidad de las masas forestales y mejorar su adaptación frente al cambio climático en los tres contextos demostrativos de las acciones piloto C3, C4 y C5 (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de actuaciones en los diferentes rodales i fincas

Zona de estudio (Acción)	Nombre finca	Especie principal	Actuación i objetivo	Superficie (ha)
Parc natural dels Ports (C3)	Vallcervera	<i>Pinus halepensis</i> <i>Quercus ilex</i>	Restauración o recuperación de espacios abiertos	9,2
	Vall Figuera	<i>Pinus silvestris</i> <i>Pinus nigra</i>	Silvicultura cercana a la naturaleza y de conservación de procesos ecológicos	4,4
Comunidad Valenciana (C4)	Aitana	<i>Pinus pinaster</i>	Clarar por bosquetes	35,5
	Alpuente			10,0
	Barraques			27,6
Parque natural de la Sierra norte de Guadalajara (C5)	Cantón 16	<i>Pinus uncinata</i>	Ejecución de clareos en las masas de repoblación de pino albar	18,6
	Cantón 29	<i>Pinus sylvestris</i>		26,7

Objetivos

La Acción D1 del proyecto tiene como objetivo la elaboración de un informe que permita evaluar el impacto que han tenido las acciones piloto ejecutadas en términos medioambientales analizando un conjunto de indicadores relacionados con los cambios en la resiliencia de los rodales al cambio climático como consecuencia de las intervenciones forestales.

Metodología

El análisis de las consecuencias ambientales de la gestión forestal llevada a cabo (mejora de la vitalidad y estado de salud, aumento de la madurez y la diversidad estructural y funcional, mitigación del riesgo a la sequía) se apoya en el sistema de seguimiento del proyecto (acción C6), que combina la medición de parcelas permanentes en zonas intervenidas y zonas control y un marco de variables que responden a un conjunto de indicadores ambientales. Estos indicadores se resumen en la tabla 2. En los siguientes apartados se definen los distintos indicadores y se resume el método de cálculo para su obtención. El detalle del diseño experimental para el seguimiento de los indicadores, así como el método de muestreo se pueden consultar en informe de seguimiento antes de las intervenciones (.

Tabla 2. Conjunto de indicadores medioambientales y su correspondencia con las variables obtenidas durante el muestreo de campo o SIG.

Indicador	Variable (unidades)	Datos medidos (unidades)
Secuestro de CO₂	Stock de carbono (t C/ha)	Altura (m)
		Diámetro normal (cm)
		Concentración de carbono (g/100g)
Estabilidad	Índice de esbeltez	Altura (m)
		DBH (m)
Protección contra incendios forestales	Vulnerabilidad al fuego de copas	Recubrimiento combustible de escala y aéreo (%)
		Distancia entre combustibles (superficie, escala y aéreo) (m)
		Altura media de los combustibles (m)
Protección del suelo contra la erosión	Erosión del suelo (t/ha/año)	L-factor
		S-factor
		R-factor
		C-factor
		K-factor
Mejora del hábitat para especies saproxílicas	Volumen de madera muerta en pie (m ³ /ha)	Altura (m)
		Diámetro normal (m)
	Volumen de madera muerta en el suelo (m ³ /ha)	Longitud (m)
		Diámetro (m)

Indicador	Variable (unidades)	Datos medidos (unidades)
Estado de salud	Vigorosidad (% pies)	Defoliación (%)
	Coloración (% pies)	Coloración (verde/marrón)
	Vivos/muertos (% pies)	Estado árbol (%)
Índice de sequía	Índice de aridez climática	Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, valores negativos)
	Idoneidad climática	Area basal (%)
		Índice idoneidad climática por especie
	Índice de humedad topográfica	Pendiente (%)
		Superficie total de la cuenca (ha)
	Radiación solar (kJ/(m ² ·día·micrómetro))	Radiación solar (kJ/(m ² ·día·micrómetro))
	Pedregosidad (%)	Recubrimiento de roca no consolidada (%)
		Recubrimiento de roca consolidada o roca madre (%)
	Susceptibilidad media al embolismo (MPa)	Potencial hídrico xilemático al 50% por especie. (MPa)
	Diversidad de embolismo (MPa)	Potencial hídrico xilemático al 50% por especie (MPa)
	Profundidad media de las raíces (m)	Profundidad de raíces por especie (m)
	Diversidad de profundidad de las raíces (m)	Profundidad de raíces media por especie (m)
	Irregularidad	N.º clases diamétricas
	Riqueza de especies	N.º especies arbóreas
	Área basal (m ² /ha)	Diámetro normal (cm)
	Diámetro normal medio (cm)	Diámetro normal (cm)
	Capacidad rebrote	Vigor del rebrote por especie (sí/no)
	Diversidad de capacidad de rebrote	Vigor del rebrote por especie
	Índice de regeneración (pies/ha)	N.º de pies de las 3 clases diamétricas más pequeñas

Secuestro de CO₂

Con los datos de las parcelas del inventario forestal se obtienen variables las dendrométricas de diámetro normal (Dn) y altura que permiten calcular la biomasa aérea total de cada árbol mediante ecuaciones alométricas según la especie. A partir de esta ecuación se obtiene una estima del almacenamiento de carbono en los bosques, multiplicando la biomasa obtenida previamente por la concentración de carbono según la especie. Las ecuaciones alométricas y la concentración de carbono por especies están disponibles en la AllometrApp del Laboratorio Forestal Catalán (<https://laboratoriforestal.creaf.cat/allometrapp/>).

Estabilidad

La estabilidad de un árbol o rodal refleja su resistencia a caídas o roturas frente a viento, nieve u otras perturbaciones físicas. Árboles más delgados y altos son menos estables, mientras que árboles más gruesos y bajos presentan mayor resistencia estructural.

Se cuantifica mediante el índice de esbeltez, definido como la relación entre la altura y el diámetro del árbol. Luego se obtiene la media por parcela, lo que permite comparar la estabilidad antes y después de las actuaciones. Valores más bajos de este índice indican una mejora de la estabilidad.

Protección contra incendios forestales

Siguiendo la metodología de “Claves de vulnerabilidad al fuego de copas (CvFoC)” (Piqué et al., 2011), en campo se registran los siguientes parámetros:

- Cobertura del combustible de escala (%)
- Altura del combustible de superficie (m)
- Distancia entre el combustible de superficie y de escala (m)
- Distancia entre el combustible de superficie y el estrato aéreo (m)
- Distancia entre el combustible de escala y el estrato aéreo (m)
- Fracción de copa cubierta del estrato aéreo (%)

Con estas variables y siguiendo las claves dicotómicas propuestas en el documento se determina la clase de vulnerabilidad al fuego de copas que puede tomar los valores: Alta (A), Moderada (B) o Baja (C). Cada tipo de formación forestal tiene su propio sistema de clasificación.

Protección del suelo contra la erosión

Uno de los servicios ecosistémicos analizados en los bosques es la prevención de la erosión causada por la precipitación.

Se ha evaluado el riesgo a la erosión (Mg suelo/ha/año), que representa la cantidad de suelo que se pierde debido a la ausencia de la cobertura forestal o arbustiva. Cuanto mayor sea la proporción de suelo desprovisto de vegetación mayor será la pérdida de suelo.

El cálculo se basa en la ecuación RUSLE de MedREM (Renard et al., 1997; Panagos et al., 2015):

$$RUSLE = L \times S \times K \times R \times C$$

donde:

- $L \times S$ = longitud de la pendiente y pendiente,
- K = tipo de suelo o geología ($t \times h \times ha^{-1} \times MJ^{-1} \times mm^{-1}$),
- R = erosividad de la lluvia, es decir, la capacidad de la precipitación para causar erosión ($MJ \text{ mm } ha^{-1} \text{ hora}^{-1} \text{ any}^{-1}$),
- C = proporción de suelo desnudo o sin cobertura vegetal.

Las variables L , S y K se consideran constantes en el tiempo, tomadas de la base de datos europea de Panagos et al. (2015).

La variable R , en cambio, depende de las condiciones meteorológicas de cada episodio de lluvia.

Esta variable ha sido calculada utilizando archivos NetCDF generados por el interpolador diario de AEMET / Meteoland. Cada archivo contiene por provincia y año una serie de puntos espaciales con sus coordenadas geográficas (latitud, longitud) y, a su vez, cada punto contiene variables diarias de la precipitación diaria (mm).

Por cada provincia (50) y teniendo una serie temporal del 1976 al 2022 (47 años) se disponen de 2350 archivos.

Para cada punto espacial de cada provincia y año se calculó la precipitación anual acumulada ($mm \times \text{año}^{-1}$) y la precipitación diaria máxima (el día del año con más precipitación) a partir de la precipitación diaria.

Siguiendo la formulación de MedREM para el factor R , se aplicó la siguiente formula:

$$R = b_0 \times P \times d \times (a + b_1 \times \text{longitud})$$

donde:

- P es la precipitación anual acumulada (mm),
- d es la precipitación diaria máxima anual (mm),
- Longitud (grados),
- $b_0 = 0.017$,
- $b_1 = -0.015$,
- $a = 2$.

Este cálculo se realizó por cada punto espacial y año generando una serie anual de valores R para cada punto.

Seguidamente se calculó la media del factor R para cada punto espacial entre el 1976 y el 2022 para disponer de la capacidad erosiva media del régimen de lluvias por punto.

Para cada parcela del proyecto, se ha escogido el valor de R del punto espacial más cercano.

Por su parte, C (proporción de suelo desnudo) varía con el tiempo según la dinámica de la cobertura vegetal. Cuanto mayor es C (más suelo desnudo), mayor es la erosión y menor la erosión mitigada. Este valor se ha calculado como la inversa de la fracción de cabida cubierta y convertido en un valor entre 0 y 1.

En consecuencia, el indicador de erosión cambia a lo largo del tiempo en función de los cambios en la cobertura vegetal (C) y en la capacidad erosiva de la lluvia (R).

Estado de salud

Para evaluar el estado de salud de un rodal se tiene en cuenta el porcentaje de defoliación, la decoloración y el estado (vivo o muerto) de los árboles de las parcelas. A partir de estos datos se obtienen los siguientes indicadores de estado de salud:

- Vigorosidad: se calcula como el porcentaje de defoliación a la cual se aplica la inversa (100-defoliación) del conjunto de árboles de cada parcela ponderado por el área basal de cada uno.
- Coloración, a partir de los datos de decoloración de cada árbol medida como verde (cuando el conjunto mayoritario de las hojas de árbol es verde) o marrón/rojizo (cuando el conjunto mayoritario de las hojas de árbol es rojo o marrón según si el pie es conífera o frondosa) se calcula la proporción del área basal de los verdes respecto al total.

- Proporción de vivos: a partir de los datos del estado (vivo o muerto) de cada árbol se calcula la proporción del área basal de los árboles vivos respecto al área basal total.

Mejora del hábitat para especies saproxílicas

Las especies saproxílicas son aquellas que dependen de la madera muerta o en descomposición en algún momento de su ciclo de vida.

Para evaluar si hay una mejora en el hábitat de estas especies se utiliza la información de la madera muerta en pie y en el suelo.

Para la madera en pie, se tiene en cuenta el inventario realizado por parcela donde se identifican los árboles muertos. Se suman los valores de volumen de los pies muertos con diámetro normal igual o superior a 17,5 cm, ya sean tipo árbol o tocón alto, de especies autóctonas, expresado en m³/ha. Todos los pies de las parcelas se clasifican en 9 estados de aspecto visual posibles que se asocian a diferentes estados de descomposición de la madera. Los códigos 1 y 2 de estos estados corresponden a pies vivos, mientras que del código 3 al 9 corresponden a estados diferentes de árboles muertos.

En cuanto a la madera en el suelo, se muestrea toda la parcela en busca de todas las piezas dentro de esta. Solo se tienen en cuenta piezas, o partes de ellas, de diámetro igual o superior a 12,5 cm. Con su longitud, diámetro en la mitad de la pieza y juntamente con el área de la parcela muestreada para madera muerta (que no siempre coincidirá con el área de la parcela de árboles) en la que se encuentra se calcula su volumen por hectárea.

Índice de sequía

El índice de riesgo a la sequía es un indicador sintético que permite evaluar de manera cuantitativa el riesgo de que un rodal forestal sufra daños ante episodios de sequía. Este índice se ha desarrollado en el contexto de este proyecto con la finalidad de proporcionar un sistema objetivo y replicable para el diagnóstico del riesgo en bosques del ámbito peninsular español, y se fundamenta en un marco conceptual estructurado jerárquicamente que integra múltiples indicadores estructurales, funcionales y de contexto.

Los indicadores se agrupan en dos grandes ejes o ámbitos: la vulnerabilidad y la exposición, que responden, respectivamente, a las propiedades intrínsecas del bosque (estructurales, funcionales y de composición), es decir, a las características propias del rodal que pueden favorecer o mitigar los efectos de la sequía, y a las condiciones ambientales o territoriales que determinan el

grado en que un determinado rodal está expuesto a los efectos de una sequía como consecuencia de su ubicación.

Cada ámbito se desglosa en criterios que se alimentan de un conjunto de variables de campo que permiten cuantificar los indicadores procedentes de fuentes cartográficas y de bases de datos de rasgos funcionales de las especies (figura 1 y 2). A partir de esta información, y mediante un sistema de ponderación preestablecido, se calcula un valor normalizado para cada indicador, lo que permite obtener finalmente un índice sintético de riesgo a la sequía para cada rodal analizado y que puede variar entre 0 y 10.

Para más información y detalles de la metodología para la obtención del índice y de la definición de sus componentes (criterios e indicadores) se puede consultar el documento: [Evaluación del riesgo de los bosques frente al cambio climático](#).

Cada parcela se caracteriza con su especie arbórea dominante para la asignación de los umbrales de normalización de los indicadores. Para ello se ha escogido la que representa el área basal más elevada de los árboles vivos con un Dn igual o superior a 17,5 cm.

Para el cálculo de las variables, indicadores necesarios para obtener el índice a escala de rodal se ha utilizado la [herramienta online](#) que está a disposición de cualquier usuario y que permite introducir la información de las parcelas de cualquier rodal y evaluar el riesgo a la sequía y de los criterios e indicadores correspondientes.

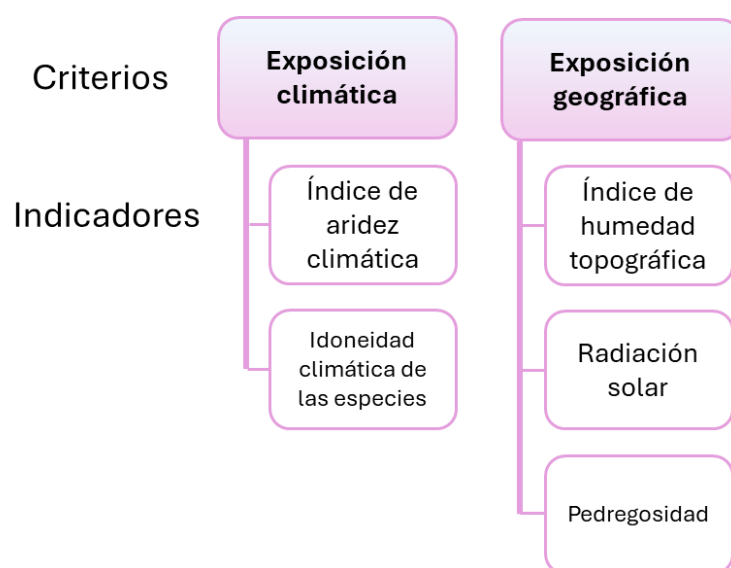


Figura 1. Indicadores del ámbito de exposición agrupados por los respectivos criterios.

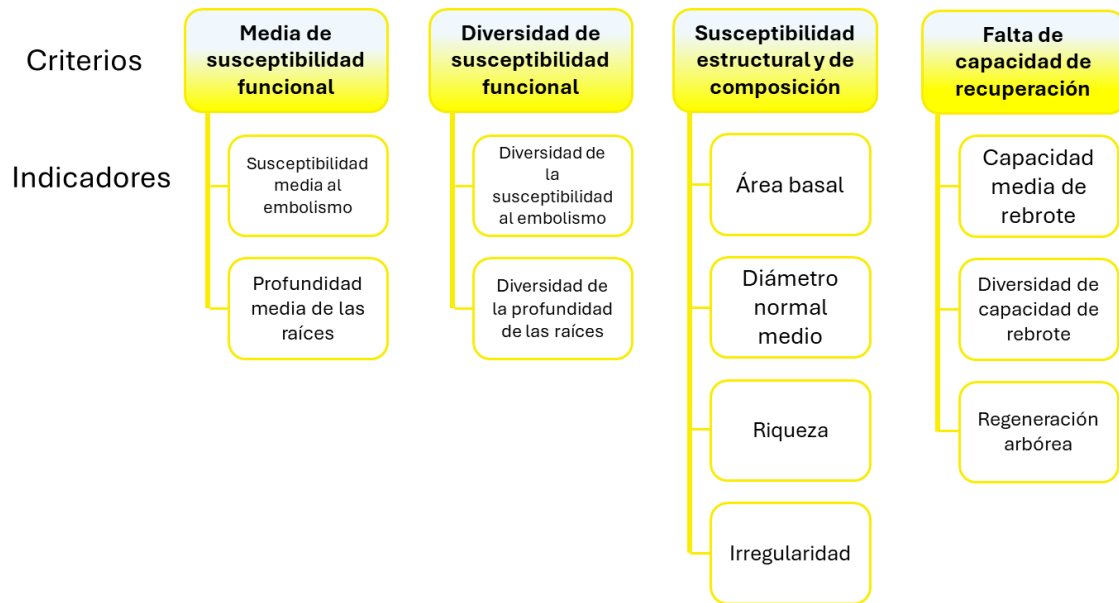


Figura 2. Indicadores del ámbito de vulnerabilidad agrupados por los respectivos criterios.

Otra de las características interesantes de la herramienta es que permite comparar los datos de los rodales con los del índice de riesgo a la sequía de las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) para la misma especie.

Antecedentes

Caso demostrativo 1: Creación de un mosaico resiliente en el Parc Natural dels Ports

La acción que se ha implementado pretende formar un paisaje resiliente al cambio climático formado por teselas de diversos tipos de vegetación y bosques en distinto grado de desarrollo. Los bosques del Parc Natural dels Ports están formados por 5.066 ha (14,6% de la superficie del parque) de encinares (HIC 9340), 6.100 ha (17,4% de la superficie del parque) de pinares mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos (HIC 9530*) y 2.329 ha (6,7% de la superficie del parque) de pinares mediterráneos de pinos mesogeanos endémicos, mayormente *Pinus halepensis* (HIC 9540).

Para el desarrollo de las actuaciones demostrativas se seleccionaron dos fincas:

- Finca Vallcervera, de titularidad privada. Predomina el pinar de *Pinus halepensis* con ejemplares aislados de *Pinus nigra* desarrollado sobre antiguos campos de cultivos de estructura pluriestratificada con algunos olivos intercalados. En algunos sectores también aparece una masa monoespecífica de encina (*Quercus ilex*), con presencia puntual de quejigo (*Quercus faginea*) con estructura de monte bajo y monoestratificado con presencia puntual de palmito (*Chamaerops humilis*).
- Finca Vall Figuera, de titularidad pública. Cubierta por un pinar mixto de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, de estructura semirregular. Aparecen otras especies en el sotobosque.

Por tanto, el 100% del área de actuación está dedicada a la mejora del estado de conservación de hábitats de interés comunitario, en Vallcervera con un total de 7,46 ha divididas en tres rodales (E001 con 5,46 ha, PS02 con 2,28 ha y PS03 con 1,45 ha) y en Vall Figuera con un único rodal de 4,39 ha.

En cuanto al rodal PS03 de Vallcervera, no se muestreó debido a la escasa superficie de actuación que no permitía instalar 3 parcelas de seguimiento con una distancia suficiente entre ellas.

Tabla 3. Resumen de actuaciones en los diferentes rodales i fincas del Parc Natural dels Ports.

Finca	Rodal	Area actuación (ha)	Parcelas actuación	Area control (ha)	Parcelas control	Especie dominante	Tipo de actuación
Vallcervera	EO01	5,46	7	2,51	3	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus nigra</i> y <i>Quercus ilex</i>	Restauración o recuperación de espacios abiertos.
	PS02	2,28	3	0,98	3		Silvicultura cercana a la naturaleza y de conservación de procesos ecológicos.
	PS03	1,45	2	0,86	2		
Vall Figuera	Fig	4,39	5	5,77	3	<i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus nigra</i>	

Vallcervera

En la zona de bosque se han señalado un total de 73 árboles (19,57 árboles/ha) de futuro. Se han realizado cortas de liberación en torno a estos, y desbrozado el matorral (5 metros alrededor de cada pie). Se han anillado 10 árboles (2,68 árboles/ha) y cortado dejando la madera en el suelo 12 árboles (3,22 árboles/ha).

En la zona abierta, se han cortado 352 árboles (64,47 árboles/ha), de los cuales algunos se han dejado enteros en el monte, otros se han troceado y otros se han extraído. En total se ha desemboscado un total de 79 árboles (14,47 árboles/ha) utilizando skidder forestal.

Además, se ha realizado una corta de adehesamiento en la zona de antiguos campos de cultivo. Se han podado 25 olivos para promover el rebrote y producción de fruto para la fauna, y se ha desbrozado selectivamente el matorral presente en los antiguos campos de cultivo abandonados y en las zonas ocupadas por matorral continuo.

Vall Figuera

Se ha intervenido sobre 55 árboles (12.53 árboles/ha) de futuro cortando y troceando 107 árboles (24.37 árboles/ha), cortando y desemboscando 28 árboles (6.38 árboles/ha), anillando 17 árboles (3.87 árboles/ha) y dejando en el suelo 37 árboles (8.43 árboles/ha). Se ha desbrozado el matorral alrededor de la mayor parte de los árboles de futuro (5 metros alrededor de cada pie), y se ha desemboscado un total de 38 árboles (8.66 árboles/ha) utilizando tracción animal y skidder forestal.

Además, se han creado cuatro claros de pequeñas dimensiones (entre 150 m² y 200 m²) liberando la regeneración ya establecida de pinos y abriendo espacio para las comunidades herbáceas.

Caso demostrativo 2: Incremento de la heterogeneidad de repoblaciones de *Pinus pinaster* en la Comunidad Valenciana

La finalidad de esta acción es promover la capacidad de adaptación y la resiliencia en repoblaciones forestales muy vulnerables al cambio climático, en especial a la sequía y a los incendios. Estas repoblaciones forestales suponen una superficie muy relevante en la zona (Castellón 35.771 ha, Valencia 99.059 ha, Alicante 54.239 ha). Se han seleccionado repoblaciones de pino negral (*Pinus pinaster*), hábitat de interés comunitario (HIC 9540 Pinares mesogeanos endémicos) ya que la mayor parte de su área de distribución se encuentra en la Península Ibérica.

Para las acciones demostrativas en la Comunidad Valenciana se han seleccionado tres casos representativos de una situación muy común en el conjunto de España como son las repoblaciones –en este caso de pino negral (*Pinus pinaster*)– realizadas a finales de s. XX, que debido a su escasa rentabilidad y al abandono del medio rural, no han recibido tratamientos intermedios ni han sido objeto de aprovechamiento. Se han seleccionado rodales similares, en repoblaciones de unos 50 años de antigüedad sin tratamientos intermedios, en Alicante, Valencia y Castellón. Los rodales en Castellón tienen como peculiaridad un dosel compuesto por varias especies arbóreas, y en todas ellas persisten pies dominados y dispersos de especies acompañantes. Todos los rodales seleccionados presentan una estructura simplificada, con escasa regeneración natural y un sotobosque muy escaso y empobrecido. Se identifican problemas como el exceso de densidad, competencia entre pies, estructura muy homogénea. Esta estructura, junto con la falta de precipitación y el calor estival, determinan una alta vulnerabilidad a la sequía y a los incendios.

Tabla 4. Resumen de actuaciones en los diferentes rodales i fincas de la Comunidad Valenciana.

Finca	Area actuación (ha)	Parcelas actuación	Area control (ha)	Parcelas control	Especie dominante	Tipo de actuación
Aitana	35,55	8	8,79	7	<i>Pinus pinaster</i>	Claras por bosquetes
Alpuente	9,98	3	10,16	3		
Barraques	27,58	8	8,37	4		

Se han realizado claras por bosquetes. Este tratamiento permite disminuir la densidad, incrementar la heterogeneidad y abrir claros para promover la regeneración.

Con objeto de promover la mayor heterogeneidad, se han establecido dos tipos de bosquetes: unos grandes (radio de 2,5 veces la altura dominante) y otros pequeños (radio 1,5 veces la altura dominante).

La superficie total de los bosquetes supone el 40% del rodal. Además, al dejar zonas sin intervenir, no se expone toda la masa al tratamiento, lo que permite conservar reductos adecuados para especies con mayores requerimientos de sombra, con la consecuente diversificación de la masa forestal en especies.

Dentro de cada bosquete, se realizan claras selectivas, dejando representación de todas las clases diamétricas existentes, incluyendo los árboles dominados e intermedios. Además, se seleccionan pies de futuro o de porvenir en una densidad de 80 pies/ha. Estos pies son seleccionados por su mayor capacidad de dispersión de semilla, con mejores copas, o por su interés para la biodiversidad (presencia de microhábitats). En el señalamiento se procura la presencia de estos pies en todos los bosquetes, y se señalan los pies que compiten con los seleccionados para su apeo.

Las claras por bosquetes permiten, con un señalamiento previo, liberar de competencia las especies acompañantes. Se han realizado claras de liberación dentro de los bosquetes, alrededor de los ejemplares de *Quercus faginea*, *Fraxinus ornus* y *Quercus ilex*.

Dado que existe en el monte madera muerta procedente de perturbaciones anteriores (derribos), no se ha generado madera muerta de forma activa. Para el mantenimiento de las especies saproxílicas, muchas de ellas amenazadas, se ha dejado en el monte la madera muerta existente de grandes dimensiones, tanto en el suelo como árboles muertos en pie.

Caso demostrativo 3: Incremento de la diversidad en repoblaciones de *Pinus sylvestris* en el Parque Natural de la Sierra Norte de Guadalajara

Se propone la implementación de medidas de adaptación consistentes en la restauración ecológica en repoblaciones de *Pinus sylvestris*, fomentando el carácter mixto de los hábitats forestales (robleales, hayedos y abedulares), y el mosaico con pastizales y matorrales de alta montaña mediterránea. El área total de la finca es de 2.623 ha repobladas con *Pinus sylvestris* entre 1972 y 1984.

La zona de aplicación de la acción demostrativa se localiza en la cabecera de la cuenca del río Veguillas, dentro del monte de utilidad pública (MUP) n.º 276 "Cuartel del Monte", en la localidad de Peñalba de la Sierra, perteneciente al municipio de El Cardoso de la Sierra de la provincia de Guadalajara. Se trata de una zona de alta montaña ubicada en las laderas de la vertiente oriental del macizo Somosierra-Ayllón, entre el Pico del Lobo y el Puerto de la Quesera. El área de trabajo se sitúa a cotas de entre 1.500 y 1.900 m y las laderas presentan pendientes muy elevadas, en muchas zonas superiores al 60%. Estas laderas aparecen cubiertas en la actualidad por masas muy densas de pino albar (*Pinus sylvestris*) que tienen su origen en las campañas de repoblaciones realizadas por el Patrimonio Forestal del Estado entre las décadas de 1970 y 1980. Previamente a estas repoblaciones la cubierta arbolada era muy escasa debido al intenso uso pastoral y la obtención de madera y leñas. Únicamente se conservaba arbolado en el fondo de los barrancos o entre roquedos, con presencia dispersa de robles, hayas, abedules, mostajos, serbales, etc.

Se definió una superficie de actuación de 26,69 ha, localizada en el cantón 29 del MUP n.º 276 "Cuartel del Monte".

El objetivo fue aumentar la proporción en el dosel de otras especies arbóreas presentes, diferentes a *Pinus sylvestris* mediante la mejora vegetativa y de la regeneración de especies y hábitat arbóreos mesófilos (HIC 9120 Hayedos acidófilos atlánticos con sotobosque de *Ilex aquifolium* e HIC 9230 Robledales de *Quercus pyrenaica* y robledales de *Quercus robur*).

Se han muestreado un total de 15 parcelas permanentes de muestreo de las cuales 12 corresponden a las zonas de actuación y 3 a parcelas control en masas de características similares no intervenidas, con objeto de comparar la evolución tras la intervención.

Table 5. Resumen de actuaciones en los diferentes rodales i fincas de la Sierra norte de Guadalajara

Finca	Area actuación (ha)	Parcelas actuación	Area control (ha)	Parcelas control	Especie dominante	Tipo de actuación
Cantón 29 Veguillas	26,69	12	7,22	3	<i>Pinus sylvestris</i>	Clareos

Durante los últimos meses de 2024 se llevaron a cabo actuaciones selvícolas consistentes en la ejecución de clareos en distintas masas de repoblación de pino albar (*Pinus sylvestris*) muy densas, con el objetivo principal de incrementar la heterogeneidad estructural de las masas y favorecer la liberación y desarrollo de las frondosas presentes en el pinar. Se aplicaron clareos con una extracción aproximada del 52% de los pies existentes. Estas actuaciones permitieron reducir la densidad inicial, de 1670 pies/ha, hasta alcanzar densidades objetivo, próximas a los 800 pies/ha, con una extracción media de 870 pies/ha y de unos 70 m³/ha. La selección de los pies extraídos se centró prioritariamente en individuos dominados, deformes, dañados o con signos de pérdida de vigor, manteniendo pies vigorosos de distintas clases diamétricas con el fin de aumentar la diversidad estructural de la masa.

En las masas de repoblación menos densas de *P. sylvestris*, los clareos se ejecutaron con una extracción similar, en torno al 51%, reduciendo la densidad desde valores aproximados de 915 pies/ha hasta densidades objetivo, cercanas a los 450 pies/ha. En este caso, el volumen extraído fue del orden de 50 m³/ha y la densidad de corta de 465 pies/ha. Al igual que en las masas más densas, se priorizó la eliminación de pies con bajo valor selvícola y aquellos que ejercían competencia directa sobre frondosas presentes o sobre posibles pies de regeneración y latizal bajo.

Por último, en las repoblaciones de *P. sylvestris* con presencia significativa de frondosas, las actuaciones se orientaron especialmente a la liberación de estas últimas. Se aplicaron clareos con una intensidad aproximada del 55%, reduciendo la densidad del pinar desde unos 600 pies/ha hasta valores objetivo en torno a los 270 pies/ha, con una extracción media de aproximadamente 55 m³/ha y una densidad de corta de 330 pies/ha. En el entorno inmediato de pies o pequeños rodales de frondosas se eliminaron todos los pies de pinar que pudieran suponer competencia directa, favoreciendo así su desarrollo futuro y la diversificación específica de la masa.

De forma general, en todas las unidades de actuación se mantuvieron algunos pies muertos o con presencia de microhábitats (en torno a 5-6 pies/ha), con el objetivo de mejorar las condiciones para la biodiversidad. Asimismo, se priorizó

la conservación de pies con bajo índice de esbeltez y buen estado sanitario, con el fin de reducir la vulnerabilidad de las masas frente a fenómenos meteorológicos adversos como vientos fuertes o nevadas intensas.

Resultados

Caso demostrativo 1: Creación de un mosaico resiliente en el Parc Natural dels Ports

Vallcervera actuación 1 EO01

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal EO01 ha dado como resultado una reducción de la densidad de cerca del 30% y del área basal del 18% confirmando que la corta ha sido de baja intensidad. El mantenimiento del diámetro normal y de la altura media indica que la intervención no ha alterado la estructura básica del rodal, pero ha conseguido una reducción significativa, aunque moderada, de la competencia (tabla 6).

Tabla 6. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal EO01 de Vallcervera del Parc natural dels Ports.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	3	7	7	-
Area basal (m²/ha)	2,1 ± 0,3	14,3 ± 3,2	11,7 ± 2,5	-2,7 (-18,0%)
Densidad (pies/ha)	155,6 ± 8,2	476,7 ± 127,8	326,7 ± 56,9	-150 (-31,5%)
Volumen con corteza (m³/ha)	5,1 ± 1,0	58,4 ± 18,8	47,4 ± 14,6	-11 (-18,8%)
Altura media (m)	5 ± 0,1	6,8 ± 0,4	6,4 ± 0,5	-0,4 (-5,9%)
DN medio (cm)	12,9 ± 0,7	20,4 ± 1,8	20,6 ± 2,2	0,2 (1,0%)

INDICADORES

Acorde con los resultados de la tabla 7 observamos que, como consecuencia del tratamiento el stock de carbono se ha visto reducido en cerca de un 30%. El espacio abierto que se ha generado ha hecho que aumentara el riesgo a la erosión en cerca de un 20%. La estabilidad ha mejorado ligeramente y el estado de salud se ha mantenido en valores similares, así como la vulnerabilidad al fuego que no se ha visto alterada. Mientras que la madera muerta en pie no se ha visto afectada por el tratamiento la del suelo se ha visto incrementada cuatro veces (400%) repercutiendo en un aumento de la madera muerta total de un 76%.

Tabla 7. Media y error estándar de los indicadores del rodal control y del rodal antes y después de la actuación del rodal EO01 de Vallcervera.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		3	7	7	-
Stock de carbono (tC/ha)		2,5 ± 0,4	12,8 ± 6,0	9,01 ± 4,4	-3,8 (-29,9%)
Estabilidad		39,6 ± 3,4	40,7 ± 3,9	36,7 ± 2,5	-4 (-9,8%)
Vulnerabilidad al fuego		B	B	B	-
Erosión del suelo		75,3 ± 20,5	36,5 ± 14,8	43,8 ± 9,7	7,2 (19,9%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	70,1 ± 26,3	78,6 ± 6,1	81,1 ± 5,5	2,6 (3,2%)
	Coloración (%)	70,9 ± 26,1	93,8 ± 2,8	92,1 ± 3,6	-1,8 (-1,9%)
	Prop. de vivos (%)	70,9 ± 26,1	93,9 ± 2,8	92,7 ± 3,6	-1,2 (-1,3%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	4,7 ± 4,2	2,5 ± 1,2	4,4 ± 1,3	1,9 (76%)
	En pie (m³/ha)	4,4 ± 4,3	2 ± 1,0	2,0 ± 1,0	0
	En suelo (m³/ha)	0,2 ± 0,2	0,5 ± 0,2	2,5 ± 1,0	2,0 (400%)

Finalmente, en cuanto al riesgo de sequía (tabla 8), observamos como disminuye ligeramente tras el tratamiento, aproximándose a los valores de referencia del Inventario Forestal Nacional. Mientras que en el ámbito de la exposición los valores se mantienen en el tiempo, la reducción de la susceptibilidad y de la falta de capacidad de recuperación que hacen disminuir la vulnerabilidad, apuntan a una mejora del comportamiento del rodal frente al estrés hídrico, aunque algunos componentes siguen mostrando valores superiores a la media del IFN, sobre todo la susceptibilidad estructural.

Tabla 8. Índice del riesgo frente a la sequía y sus componentes del rodal EO01 de Vallcervera antes y después de la actuación comparado con la media de los indicadores del IFN.

Componente	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo a la sequía	6,0	5,6	4,2
Exposición	4,0	4,1	5,4
Exposición climática	2,6	2,8	3,4
Índice de aridez climática	2,3	2,3	4,1
Idoneidad climática	2,9	3,2	2,9
Exposición geográfica	4,6	4,6	6,3
Índice de humedad topográfica	7,5	7,5	7,5
Radiación solar	5,3	5,3	7,5
Pedregosidad	0	0	3,5
Vulnerabilidad	6,9	6,3	3,7
Susceptibilidad	6,8	6,3	3,7
Media de susceptibilidad funcional	6,7	6,9	7,4
Susceptibilidad media al embolismo	4,8	4,7	5,8
Profundidad media de las raíces	8	8,4	8,4
Diversidad de susceptibilidad funcional	9,0	9,0	9,4
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	9,1	9,3	9,8
Diversidad de profundidad de las raíces	9,0	8,8	9,2
Susceptibilidad estructural/composición	6,5	5,5	0,9
Área basal	0	0	0
Diámetro normal medio	0	0	0
Número de especies arbóreas	8,3	8,6	9,2
Número de clases diamétricas	0	0	0
Falta de capacidad de recuperación	7,8	6,7	3,4
Capacidad media de rebrote	9,4	9,2	8,6
Diversidad de capacidad de rebrote	9,3	9,5	8,5
Índice de regeneración			

Vallcervera actuación 2 PS02

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal PS02 ha resultado en una reducción de las variables dasométricas como el área basal (~12%) y la densidad (30%) acorde con los objetivos del tratamiento. Se observa también que la altura media se mantiene estable y el diámetro normal medio aumenta ligeramente, manteniendo así la estructura del rodal a la vez que reduciendo la competencia entre individuos (Tabla 9).

Tabla 9. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal PS02 de Vallcervera.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	3	3	3	
Área basal (m²/ha)	19,1 ± 0,5	18,7 ± 7,08	16,4 ± 7,1	-2,2 (-11,9%)
Densidad (pies/ha)	525,2 ± 52,2	412,3 ± 65,1	287,0 ± 38,0	-124,3 (-30,1%)
Volumen con corteza (m³/ha)	101,0 ± 6,3	112,6 ± 57,3	102,7 ± 57,5	-9,9 (-8,8%)
Altura media (m)	7,8 ± 0,4	8,8 ± 1,3	8,8 ± 1,5	0,02 (0,2%)
DN medio (cm)	21,7 ± 1,4	22,8 ± 3,4	25,2 ± 4,6	2,4 (10,5%)

INDICADORES

En relación con los indicadores (Tabla 10), el stock de carbono disminuye de forma moderada tras el tratamiento (10%). Al igual que en el caso anterior, la mayor apertura del dosel se traduce en un aumento del riesgo de erosión del suelo (29%). La estabilidad se ha visto ligeramente mejorada con un 13% menos de esbeltez. La vulnerabilidad al fuego se mantiene en valores moderados, así como el estado de salud del rodal que apenas se ha visto afectado por la intervención, manteniéndose valores elevados y estables. En el caso de la madera muerta, la que permanece en pie se mantiene estable en valores absolutos, mientras que la que del suelo pasa de la ausencia a 1,1m³/ha. Esto se ve reflejado en la madera muerta total en un aumento del 400%.

Tabla 10. Media y error estándar de los indicadores del rodal PS02 de Vallcervera.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		3	3	3	
Stock de carbono (tC/ha)		31,7 ± 0,6	32,2 ± 15,3	28,8 ± 15,5	-3,4 (-10,5%)
Estabilidad		44,8 ± 5,0	50,7 ± 4,6	44,1 ± 2,4	-6,6 (-13,1%)
Vulnerabilidad al fuego		B	B	B	
Erosión del suelo		36,6 ± 15,9	25,8 ± 17,0	33,4 ± 17,7	7,5 (29,2%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	93,8 ± 3,1	92,2 ± 3,4	91,1 ± 3,4	-1,0 (-1,1%)
	Coloración (%)	95,0 ± 2,7	97,7 ± 1,7	97,2 ± 2,1	-0,5 (-0,5%)
	Proporción de vivos (%)	95,0 ± 2,7	97,7 ± 1,7	96,4 ± 2,8	-1,2 (-1,3%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	2,8 ± 1,9	0,3 ± 0,2	1,5 ± 0,3	1,2 (400%)
	En pie (m³/ha)	2,0 ± 1,1	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,1 (33,3%)
	En suelo (m³/ha)	0,8 ± 0,8	0 ± 0	1,1 ± 0,6	1,1 (NA)

Finalmente, en cuanto al riesgo de sequía (Tabla 11), los valores globales se mantienen prácticamente constantes tras el tratamiento y se sitúan por debajo de la media del Inventario Forestal Nacional. Los indicadores de exposición y vulnerabilidad se mantienen estables. En conjunto, los resultados indican que la actuación no ha incrementado ni disminuido el riesgo frente al estrés hídrico y que el rodal presenta unos valores algo más favorables en comparación con los valores de referencia del IFN.

Tabla 11. Índice del riesgo y sus componentes frente a la sequía del rodal PS02 de Vallcervera comparado con la media del índice del IFN. Los valores no tienen unidades y pueden variar entre 0 y 10.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	5,8	5,8	6,8
Exposición	4,2	4,3	5,4
Exposición climática	3,0	3,2	3,1
Índice de aridez climática	2,1	2,1	4,2
Idoneidad climática	3,8	4,2	2
Exposición geográfica	4,7	4,7	6,4
Índice de humedad topográfica	7,5	7,5	7,6
Radiación solar	5,6	5,6	7,3
Pedregosidad	0	0	3,9
Vulnerabilidad	6,5	6,5	7,4
Susceptibilidad	6,3	6,3	7,7
Media de susceptibilidad funcional	6,7	6,7	8,4
Susceptibilidad media al embolismo	5,4	5,4	6,1
Profundidad media de las raíces	7,5	7,6	9,9
Diversidad de susceptibilidad funcional	8,5	8,5	9,8
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	8,7	8,7	9,8
Diversidad de profundidad de las raíces	8,4	8,4	9,7
Susceptibilidad estructural/composición	5,7	5,8	7,0
Área basal	3,2	2,8	0,6
Diámetro normal medio	4,0	3,3	7,0
Número de especies arbóreas	7,2	7,2	9,7
Número de clases diamétricas	7,8	8,9	9,6
Falta de capacidad de recuperación	8,1	8,6	4,3
Capacidad media de rebrote	9,9	9,9	0,5
Diversidad de capacidad de rebrote	9,6	9,6	9,4
Índice de regeneración	7,0	7,7	5,3

Vall Figuera

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal de Vall Figuera (Tabla 12) ha dado lugar a una ligera reducción de las variables dasométricas acorde con la actuación de baja intensidad que se llevó a cabo. El área basal ha disminuido un 12%, el volumen un 11% y la densidad un 17%. Por otro lado, el diámetro normal medio y la altura media aumentan ligeramente. Estos cambios indican una reducción ligera de la competencia tras la intervención, manteniendo una estructura general del rodal similar a la previa al tratamiento.

Tabla 12. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal de Vall Figuera.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	3	5	5	
Area basal (m²/ha)	40,9 ± 6,0	43,3 ± 5,7	38 ± 3,7	-5,3 (-12,2%)
Densidad (pies/ha)	1036,3 ± 254,4	956,7 ± 138,3	795,1 ± 109,0	-161,6 (-16,9%)
Volumen con corteza (m³/ha)	191,0 ± 13,7	256,1 ± 51,6	227,7 ± 40,1	-28,4 (-11,1%)
Altura media (m)	8,9 ± 0,3	10,4 ± 1,3	10,6 ± 1,5	0,3 (2,7%)
DN medio (cm)	23,2 ± 2	24,8 ± 2,8	25,6 ± 3,0	0,8 (3,3%)

INDICADORES

En relación con los indicadores (Tabla 13), el stock de carbono disminuye ligeramente (11%) tras el tratamiento, y al igual que en los casos anteriores, la mayor apertura del dosel se traduce en un aumento del riesgo de erosión del suelo (40%). Se observa que indicadores como la estabilidad, la vulnerabilidad al fuego o el estado de salud que se mantienen estables con alguna ligera disminución. En cuanto a la madera muerta, a pesar de que la madera en pie aumenta en un 20%, la total se ve reducida en un 20% debido a reducción de la madera en el suelo que es de aproximadamente un 40%.

Tabla 13. Media y error estándar de los indicadores del rodal de Vall Figuera.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		3	5	5	-
Stock de carbono (tC/ha)		66,2 ± 5,5	80,7 ± 13,2	71,6 ± 9,7	-9,1 (-11,3%)
Estabilidad		46,5 ± 1,8	51,2 ± 3,2	50,4 ± 3,2	-0,8 (-1,5%)
Vulnerabilidad al fuego		B	A	A	
Erosión del suelo		20,8 ± 6,4	29,7 ± 6,9	41,8 ± 18,4	12,1 (40,7%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	97,0 ± 1,7	90,5 ± 2,8	85,0 ± 4,2	-5,5 (-6,0%)
	Coloración (%)	97,8 ± 1,3	96,1 ± 2,0	95,3 ± 2,1	-0,8 (-0,8%)
	Proporción de vivos (%)	98,1 ± 1,4	98,6 ± 0,5	98,3 ± 0,6	-0,3 (-0,3%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	2,8 ± 1,9	6,3 ± 2,6	5,1 ± 1,9	-1,2 (-19,0%)
	En pie (m³/ha)	2,5 ± 2,0	2,0 ± 0,8	2,4 ± 1,2	0,4 (20,0%)
	En suelo (m³/ha)	0,3 ± 0,3	4,4 ± 2,4	2,8 ± 1,1	-1,6 (-36,4%)

Finalmente, en cuanto al riesgo de sequía (Tabla 14), los valores globales se mantienen estables tras el tratamiento y se sitúan ligeramente por debajo de la media del Inventario Forestal Nacional. Los indicadores de exposición y vulnerabilidad apenas presentan variaciones a excepción de la falta de capacidad de recuperación que aumenta en prácticamente un punto. En general se mantienen valores ligeramente por debajo de los de referencia del IFN.

Tabla 14. Índice del riesgo frente a la sequía del rodal de Vall Figuera comparado con la media del índice del IFN.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	6,3	6,3	6,8
Exposición	4,4	4,4	5,0
Exposición climática	2,4	2,4	2,7
Índice de aridez climática	2,3	2,3	4,0
Idoneidad climática	2,4	2,4	1,3
Exposición geográfica	5,3	5,3	5,9
Índice de humedad topográfica	8,3	8,3	7,6
Radiación solar	5,7	5,7	7,1
Pedregosidad	1,0	1,0	2,6
Vulnerabilidad	7,1	7,1	7,5
Susceptibilidad	7,2	7,2	7,7
Media de susceptibilidad funcional	6,9	7,0	8,9
Susceptibilidad media al embolismo	6,4	6,5	7,4
Profundidad media de las raíces	7,3	7,3	9,9
Diversidad de susceptibilidad funcional	7,7	7,7	9,6
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	8,9	8,9	9,9
Diversidad de profundidad de las raíces	6,9	6,9	9,4
Susceptibilidad estructural/composición	7,2	7,2	6,8
Área basal	7,6	7,6	2,4
Diámetro normal medio	4,5	4,4	6,2
Número de especies arbóreas	6,9	7,0	8,9
Número de clases diamétricas	6,4	6,5	7,4
Falta de capacidad de recuperación	5,7	6,5	5,6
Capacidad media de rebrote	9,4	9,3	8,8
Diversidad de capacidad de rebrote	6,0	6,0	9,5
Índice de regeneración	3,8	5,1	3,4

Caso demostrativo 2: Incremento de la heterogeneidad de repoblaciones de *Pinus pinaster* en la Comunidad Valenciana

Aitana

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal de Aitana (Tabla 18) ha provocado una marcada reducción de las variables dasométricas, coherente con un tratamiento de reducción de competencia. Se observa una disminución moderada del área basal (36%), la densidad (44%) y el volumen (33%), mientras que la altura media y el diámetro normal medio aumentan ligeramente (~7%) manteniendo la estructura del rodal estable.

Tabla 18. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal Aitana de la Comunidad Valenciana.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	7	8	8	-
Área basal (m²/ha)	26,5 ± 4,3	31,6 ± 1,9	20,2 ± 1,8	-11,5 (-36,6%)
Densidad (pies/ha)	434,3 ± 54,9	518,9 ± 39,1	290,2 ± 32,6	-228,7 (-44,4%)
Volumen con corteza (m³/ha)	152,9 ± 23,8	186,7 ± 19,3	125 ± 15,5	-61,7 (-33,1%)
Altura media (m)	12,0 ± 0,5	12,4 ± 0,7	13,2 ± 0,8	0,8 (6,8%)
DN medio (cm)	27,4 ± 1	28,1 ± 1,1	30,0 ± 1,1	1,9 (6,9%)

INDICADORES

En cuanto a los indicadores (Tabla 19), el stock de carbono disminuye de forma notable (34%) tras el tratamiento, en consonancia con la reducción de biomasa observada. El riesgo de erosión del suelo aumenta de manera acusada (88%), asociado a la mayor apertura del dosel. Por otro lado, la estabilidad y la vulnerabilidad al fuego no se ven alteradas. El estado de salud del rodal se mantiene elevado, con variaciones poco relevantes en los parámetros de vigorosidad, coloración y proporción de individuos vivos. En cuanto a la madera muerta, la gran disminución en la madera muerta en pie (97%) sumada a reducción de la madera muerta en el suelo (39%) generan una reducción total de aproximadamente un 52% menos de madera muerta después del tratamiento.

Tabla 19. Media y error estándar de los indicadores del rodal de Aitana de la Comunitat Valenciana.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		7	8	8	-
Stock de carbono (tC/ha)		46,2 ± 7,5	57,3 ± 4,6	37,8 ± 4,0	-19,6 (-34,1%)
Estabilidad		49,6 ± 4,2	45,6 ± 0,8	46,0 ± 1,4	0,4 (0,8%)
Vulnerabilidad al fuego		C	C	C	-
Erosión del suelo		19,9 ± 18,5	25,3 ± 18,8	47,7 ± 33,5	22,4 (88,5%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	98,7 ± 1,3	99,0 ± 0,5	97,1 ± 0,7	-1,9 (-2,0%)
	Coloración (%)	100,0 ± 0	99,4 ± 0,3	99,2 ± 0,6	-0,2 (-0,2%)
	Proporción de vivos (%)	99,3 ± 0,3	98,8 ± 0,4	99,9 ± 0,1	1,1 (1,1%)
Volumen madera muerta	Total (m3/ha)	1,6 ± 0,7	5,1 ± 2,6	2,4 ± 1,3	-2,70 (-52,9%)
	En pie (m3/ha)	0,4 ± 0,2	1,3 ± 0,5	0,04 ± 0,04	-1,3 (-97,0%)
	En suelo (m3/ha)	1,2 ± 0,6	3,8 ± 2,4	2,3 ± 1,3	-1,50 (-39,5%)

Finalmente, en relación con el riesgo de sequía (Tabla 20), los valores globales disminuyen ligeramente tras el tratamiento, aunque se mantienen por encima de la media del Inventario Forestal Nacional. En el ámbito de la exposición no se observan cambios, manteniéndose valores idénticos tras el tratamiento. La vulnerabilidad disminuye de forma moderada, principalmente asociada a una reducción de la susceptibilidad estructural, debida, como en el caso anterior, a la disminución del área basal. Por el contrario, la falta de capacidad de recuperación se mantiene en valores elevados. En conjunto, el tratamiento genera mejoras parciales en algunos componentes del riesgo frente al estrés hídrico acercándose a los valores medios del IFN.

Tabla 20. Índice del riesgo frente a la sequía del rodal de Aitana de la Comunitat Valenciana comparado con la media del índice del IFN.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	7,4	7,0	6,2
Exposición	5,5	5,5	5,1
Exposición climática	5,4	5,4	3,9
Índice de aridez climática	2,3	2,3	4,3
Idoneidad climática	8,4	8,4	3,5
Exposición geográfica	5,6	5,6	5,6
Índice de humedad topográfica	7,9	7,9	7,1
Radiación solar	5,5	5,5	7,4
Pedregosidad	2,5	2,5	1,9
Vulnerabilidad	8,2	7,7	6,6
Susceptibilidad	8,0	7,4	6,6
Media de susceptibilidad funcional	6,4	6,4	5,2
Susceptibilidad media al embolismo	6,5	6,5	8,0
Profundidad media de las raíces	6,4	6,4	3,3
Diversidad de susceptibilidad funcional	10	10	9,3
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	10	10	9,7
Diversidad de profundidad de las raíces	10	10	9,0
Susceptibilidad estructural/composición	8,4	7,4	6,8
Área basal	8,2	4,0	3,0
Diámetro normal medio	8,1	7,2	6,8
Número de especies arbóreas	10	10	9,4
Número de clases diamétricas	8,3	8,5	8,0
Falta de capacidad de recuperación	10	10	7,3
Capacidad media de rebrote	10	10	8,7
Diversidad de capacidad de rebrote	10	10	9,1
Índice de regeneración	10	10	6,3

Alpuente

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal de Alpuente (Tabla 21) ha provocado una reducción muy intensa de las variables dasométricas asociadas a la competencia. El área basal, con un 65% de reducción, la densidad un 69% y el volumen un 64% mientras que la altura media y el diámetro normal medio presentan un ligero incremento. Estos cambios reflejan una fuerte liberación de los individuos remanentes manteniendo la estructura del rodal.

Tabla 21. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal de Alpuente de la Comunidad Valenciana.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
Nº parcelas	3	3	3	-
Area basal (m²/ha)	34,6 ± 6,7	34,3 ± 4,9	11,9 ± 2,7	-22,5 (-65,4%)
Densidad (pies/ha)	820,5 ± 162,8	838,2 ± 76,5	254,6 ± 48,6	-583,6 (-69,6%)
Volumen con corteza (m³/ha)	132,5 ± 43,8	154,3 ± 40,4	54,5 ± 11,6	-99,8 (-64,7%)
Altura media (m)	7,8 ± 1,7	9,4 ± 1,1	9,9 ± 0,9	0,5 (5,9%)
DN medio (cm)	23,2 ± 1,1	22,7 ± 0,8	24,2 ± 1,4	1,5 (6,6%)

En cuanto a los indicadores (Tabla 22), el stock de carbono disminuye de forma muy notable (64%) tras la intervención, en coherencia con la fuerte reducción de biomasa observada. El riesgo de erosión del suelo aumenta de manera muy acusada (314%), asociado a la elevada apertura del dosel. En cambio, la vulnerabilidad al fuego, ya muy baja, y la estabilidad no se ven modificadas. El estado de salud del rodal se mantiene alto, aunque se observan ligeras reducciones en los parámetros de vigorosidad, coloración y proporción de individuos vivos, del orden del 2%. En relación con la madera muerta, se observa un aumento moderado en la madera muerta total (16%) debido principalmente al aumento de madera muerta en el suelo (33%).

INDICADORES

Tabla 22. Media y error estándar de los indicadores del rodal de Alpuente de la Comunitat Valenciana.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		3	3	3	-
Stock de carbono (tC/ha)		46,0 ± 15,9	53,4 ± 11,1	18,8 ± 4,0	-34,7 (-64,9%)
Estabilidad		36,8 ± 4,5	43,3 ± 3,0	42,8 ± 1,7	-0,5 (-1,2%)
Vulnerabilidad al fuego		B	C	C	-
Erosión del suelo		8,9 ± 5,2	7,4 ± 2,5	30,7 ± 12,7	23,2 (312,1%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	98,5 ± 1,5	99,1 ± 0,9	96,7 ± 2,8	-2,4 (-2,4%)
	Coloración (%)	100,0 ± 0	99,3 ± 0,7	97 ± 2,9	-2,2 (-2,2%)
	Proporción de vivos (%)	100,0 ± 0	99,3 ± 0,7	97 ± 2,9	-2,2 (-2,2%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	3,0 ± 3,0	0,9 ± 0,9	2,9 ± 2,9	2,0 (222,0%)
	En pie (m³/ha)	0	0,9 ± 0,9	0,9 ± 0,9	0,0 (0,0%)
	En suelo (m³/ha)	3,0 ± 3,0	0	2,0 ± 2,0	2,0 (NA)

Finalmente, en relación con el riesgo de sequía (Tabla 23), los valores globales disminuyen tras el tratamiento, aunque se mantienen claramente por encima de la media del Inventario Forestal Nacional. En el ámbito de la exposición no se observan cambios después del tratamiento, manteniéndose valores elevados en comparación con los de referencia. La vulnerabilidad disminuye de forma apreciable tras la intervención, asociada principalmente a una reducción de la susceptibilidad estructural, debida en gran medida a la fuerte disminución del área basal. Por el contrario, la falta de capacidad de recuperación aumenta tras el tratamiento, condicionada por la ausencia de capacidad de rebrote y por el fuerte descenso del índice de regeneración. En conjunto, los resultados muestran una mejora parcial del riesgo frente al estrés hídrico, aunque el rodal continúa presentando valores elevados respecto al IFN.

Tabla 23. Índice del riesgo frente a la sequía del rodal de Alpuente de la Comunidad Valenciana comparado con la media del índice del IFN.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	8,0	7,4	6,2
Exposición	6,2	6,2	5,1
Exposición climática	6,8	6,8	3,9
Índice de aridez climática	5,0	5,0	4,3
Idoneidad climática	8,5	8,6	3,5
Exposición geográfica	6,0	6,0	5,6
Índice de humedad topográfica	6,6	6,6	7,1
Radiación solar	8,6	8,6	7,4
Pedregosidad	2,5	2,5	1,9
Vulnerabilidad	8,7	7,9	6,6
Susceptibilidad	8,6	7,7	6,6
Media de susceptibilidad funcional	6,4	6,4	5,2
Susceptibilidad media al embolismo	6,5	6,5	8,0
Profundidad media de las raíces	6,4	6,4	3,3
Diversidad de susceptibilidad funcional	9,8	10	9,3
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	9,6	10	9,7
Diversidad de profundidad de las raíces	9,9	10	9,0
Susceptibilidad estructural/composición	9,5	8,0	6,8
Área basal	7,6	0,8	3,0
Diámetro normal medio	10	9,3	6,8
Número de especies arbóreas	9,4	10	9,4
Número de clases diamétricas	10	10	8,0
Falta de capacidad de recuperación	9,5	10	7,3
Capacidad media de rebrote	10	10	8,7
Diversidad de capacidad de rebrote	10	10	9,1
Índice de regeneración	9,1	10	6,3

Barraques

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el rodal de Barraques (Tabla 15) ha dado lugar a una reducción significativa de las variables dasométricas acorde con los objetivos del tratamiento. Se observa una fuerte reducción del área basal (46%), la densidad (57%) y el volumen (43%), mientras que la altura media se mantiene estable y el diámetro normal medio aumenta (10%). Estos resultados reflejan una reducción muy significativa de la competencia tras la intervención.

Tabla 15. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal de Barraques de la Comunidad Valenciana.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	4	8	8	-
Área basal (m²/ha)	33,2 ± 2,1	34,7 ± 2,9	18,7 ± 2,1	-16,0 (-46%)
Densidad (pies/ha)	939,0 ± 79,6	981,9 ± 8,0	420,0 ± 25,0	-561,9 (-57,2%)
Volumen con corteza (m³/ha)	181,7 ± 9,4	198,8 ± 19,9	111,7 ± 14,5	-87,0 (-43,8%)
Altura media (m)	11,5 ± 0,3	11,6 ± 0,4	11,7 ± 0,4	0,1 (0,7%)
DN medio (cm)	21,3 ± 0,8	21,4 ± 1,1	23,6 ± 1,0	2,2 (10,3%)

INDICADORES

En relación con los indicadores medioambientales (Tabla 16), el stock de carbono disminuye de forma notable (43%) tras el tratamiento, en coherencia con las variables dasométricas. Al igual que en los casos anteriores, la mayor apertura del dosel se traduce en un aumento del riesgo de erosión del suelo, en este caso de casi cuatro veces más (296%) pero en valor absoluto es un aumento muy poco significativo. La vulnerabilidad al fuego se mantiene estable mientras que la reducción del indicador de estabilidad (-7%) mejora ligeramente la estabilidad. El estado de salud del rodal se mantiene estable, con ligeras mejoras en algunos parámetros (~1%). En cuanto a la madera muerta, se observa una reducción moderada de un 20% debido a la reducción de madera muerta en pie (43%) que no acaba de ser compensado por el incremento en la madera muerta en el suelo (15%).

Tabla 16. Media y error estándar de los indicadores del rodal de Barraques de la Comunidad Valenciana.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		4	8	8	-
Stock de carbono (tC/ha)		57,3 ± 3,4	61,8 ± 6,0	34,9 ± 4,3	-26,9 (-43,6%)
Estabilidad		58,8 ± 3,0	59,4 ± 2,6	55,4 ± 2,0	-4,0 (-6,8%)
Vulnerabilidad al fuego		B	C	C	-
Erosión del suelo		3,1 ± 4,8	1,0 ± 0,9	3,9 ± 4,4	2,9 (29,06%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	95,2 ± 2,4	91,2 ± 1,6	92,1 ± 2,6	0,9 (1,0%)
	Coloración (%)	93,4 ± 2,5	93,7 ± 1	95,6 ± 1,6	1,8 (1,9%)
	Proporción de vivos (%)	94,9 ± 2,8	94,1 ± 0,9	95,3 ± 1,5	1,2 (1,3%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	19,9 ± 14,6	16,6 ± 5,2	13,2 ± 4,8	-3,40 (-20,5%)
	En pie (m³/ha)	7,8 ± 5,0	9,9 ± 2,2	5,6 ± 2,3	-4,3 (-43,4%)
	En suelo (m³/ha)	12,1 ± 9,7	6,6 ± 3,4	7,6 ± 3,0	1,0 (15,2%)

Finalmente, en cuanto al riesgo a la sequía (Tabla 17), los valores globales disminuyen ligeramente tras el tratamiento, aunque se mantienen por encima de la media del Inventario Forestal Nacional. En el ámbito de la exposición no se observan cambios. En cuanto a la vulnerabilidad, se detecta una reducción general asociada principalmente a una disminución de la susceptibilidad, que mayormente es debida a la disminución del área basal, mientras que la falta de capacidad de recuperación aumenta de forma destacada tras la intervención debido al índice de regeneración. En conjunto, los resultados indican una ligera mejora en algunos componentes del riesgo frente al estrés hídrico, aunque el rodal sigue presentando valores elevados en comparación con los de referencia del IFN.

Tabla 17. Índice del riesgo frente a la sequía del rodal de Barraques de la Comunidad Valenciana comparado con la media del índice del IFN.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	7,4	7,0	6,2
Exposición	5,7	5,7	5,1
Exposición climática	5,3	5,5	3,9
Índice de aridez climática	3,9	3,9	4,3
Idoneidad climática	6,7	7,1	3,5
Exposición geográfica	5,8	5,8	5,6
Índice de humedad topográfica	7,0	7,0	7,1
Radiación solar	7,4	7,4	7,4
Pedregosidad	2,5	2,5	1,9
Vulnerabilidad	8,1	7,6	6,6
Susceptibilidad	8,2	7,4	6,6
Media de susceptibilidad funcional	6,7	6,5	5,2
Susceptibilidad media al embolismo	6,4	6,4	8,0
Profundidad media de las raíces	6,9	6,6	3,3
Diversidad de susceptibilidad funcional	8,5	7,7	9,3
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	9,3	9,2	9,7
Diversidad de profundidad de las raíces	8,0	6,7	9,0
Susceptibilidad estructural/composición	8,9	7,8	6,8
Área basal	7,3	3,1	3,0
Diámetro normal medio	9,6	8,8	6,8
Número de especies arbóreas	8,1	7,7	9,4
Número de clases diamétricas	9,4	9,4	8,0
Falta de capacidad de recuperación	6,7	8,9	7,3
Capacidad media de rebrote	9,9	9,8	8,7
Diversidad de capacidad de rebrote	8,8	6,3	9,1
Índice de regeneración	4,7	8,8	6,3

Caso demostrativo 3: Incremento de la diversidad en repoblaciones de *Pinus sylvestris* en el Parque Natural de la Sierra Norte de Guadalajara

Cantón 29

DASOMETRÍA

La actuación silvícola en el Cantón 29 (Tabla 24) ha dado lugar a una reducción muy marcada de las variables dasométricas asociadas a la competencia. El área basal (61%), la densidad (67%) y el volumen (63%) disminuyen de forma intensa tras el tratamiento, mientras que la altura media se mantiene prácticamente estable y el diámetro normal medio aumenta ligeramente (8%). Estos cambios reflejan una clara severa del rodal y una clara liberación de los individuos remanentes.

Tabla 24. Media y error estándar de las principales variables dasométricas del rodal del Cantón 29 del Parque natural de la Sierra Norte de Guadalajara.

Variable	Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas	3	10	10	-
Área basal (m²/ha)	27,1 ± 2,4	36,3 ± 2,5	13,9 ± 1,3	-22,4 (-61,7%)
Densidad (pies/ha)	1.009,4 ± 110,0	1.109,7 ± 133,7	358,1 ± 42,3	-751,6 (-67,7%)
Volumen con corteza (m³/ha)	27,8 ± 11,2	186,7 ± 14,5	68,4 ± 7,0	-118,3 (-63,3%)
Altura media (m)	8,1 ± 0,1	11,5 ± 0,3	11,2 ± 0,2	-0,2 (-2,1%)
DN medio (cm)	18,5 ± 0,4	21,0 ± 0,8	22,6 ± 0,8	1,7 (7,9%)

INDICADORES

En relación con los indicadores (Tabla 25), el stock de carbono disminuye de forma notable (62%) como consecuencia directa de la reducción de biomasa y el riesgo de erosión del suelo se ve altamente modificado en valor relativo (1264%) porque se parte de valores muy bajos de erosión potencial. Sin embargo, gracias a esa disminución, la vulnerabilidad al fuego se ve reducida y la estabilidad se muestra ligeramente aumentada (10%). El estado de salud del rodal muestra una ligera mejora general, con un incremento significativo en la coloración (11%). En cuanto a la madera muerta, se observa una alta reducción (95%) debido a la desaparición total de la madera muerta en pie (100%) y a la reducción de un 81% de la madera muerta en el suelo.

Tabla 25. Media y error estándar de los indicadores del rodal del Cantón 29 del Parque natural de la Sierra Norte de Guadalajara.

Variable		Control	Antes de la actuación	Después de la actuación	Diferencia (%)
N.º parcelas		3	10	10	-
Stock de carbono (tC/ha)		10,2 ± 4,2	58,4 ± 4,1	22,1 ± 2,1	-36,2 (-62,1%)
Estabilidad		45,5 ± 2,9	63,6 ± 2,5	57,2 ± 4,6	-6,4 (-10,1%)
Vulnerabilidad al fuego		A	A	B	
Erosión del suelo					34,1
		5,3 ± 5,0	2,7 ± 5,7	36,8 ± 11,6	(1.264,1%)
Estado de salud	Vigorosidad (%)	71,2 ± 0,6	74,2 ± 1,0	75,2 ± 2,1	1,0 (1,4%)
	Coloración (%)	65,8 ± 32,9	90,0 ± 10,0	100,0 ± 0	10,0 (11,1%)
	Proporción de vivos (%)	99,1 ± 0,9	98,8 ± 0,6	100,0 ± 0	1,2 (1,2%)
Volumen madera muerta	Total (m³/ha)	0	4,9 ± 1,9	0,2 ± 0,1	-4,7 (-95,9%)
	En pie (m³/ha)	0	3,8 ± 1,9	0	-3,8 (-100,0%)
	En suelo (m³/ha)	0	1,1 ± 0,6	0,2 ± 0,1	-0,9 (-81,8%)

Finalmente, en relación con el riesgo de sequía (Tabla 26), los valores globales disminuyen ligeramente tras el tratamiento, situándose en valores similares a la media del Inventario Forestal Nacional. La exposición se mantiene estable después del tratamiento. La vulnerabilidad muestra una reducción moderada, asociada fundamentalmente a la disminución de la susceptibilidad estructural como consecuencia de la fuerte reducción del área basal. Por el contrario, la falta de capacidad de recuperación aumenta tras la intervención, condicionada por el fuerte descenso del índice de regeneración pese al incremento observado en la capacidad de rebrote. En conjunto, el tratamiento genera mejoras parciales en la susceptibilidad al estrés hídrico, aunque introduce limitaciones en la capacidad de recuperación a corto plazo.

Tabla 26. Índice del riesgo frente a la sequía del rodal del Cantón 29 del Parque natural de la Sierra Norte de Guadalajara comparado con la media del índice del IFN.

Indicador	Antes de la actuación	Después de la actuación	Parcelas IFN3
Riesgo frente a la sequía	7,1	6,8	6,8
Exposición	4,6	4,6	5,0
Exposición climática	1,6	1,6	2,7
Índice de aridez climática	2,5	2,5	4,0
Idoneidad climática	0,6	0,6	1,3
Exposición geográfica	5,9	5,9	5,9
Índice de humedad topográfica	7,5	7,5	7,6
Radiación solar	7,2	7,2	7,1
Pedregosidad	2,5	2,5	2,6
Vulnerabilidad	8,2	7,7	7,5
Susceptibilidad	8,3	7,5	7,7
Media de susceptibilidad funcional	7,2	7,2	8,9
Susceptibilidad media al embolismo	6,8	6,8	7,4
Profundidad media de las raíces	7,4	7,4	9,9
Diversidad de susceptibilidad funcional	9,6	9,9	9,6
Diversidad de susceptibilidad al embolismo	9,6	9,9	9,9
Diversidad de profundidad de las raíces	9,6	9,9	9,4
Susceptibilidad estructural/composición	8,6	7,3	6,8
Área basal	6,3	0,4	2,4
Diámetro normal medio	8,3	7,6	6,2
Número de especies arbóreas	8,8	9,6	9,2
Número de clases diamétricas	10	10	8,9
Falta de capacidad de recuperación	7,3	9,9	5,6
Capacidad media de rebrote	9,8	9,8	8,8
Diversidad de capacidad de rebrote	8,3	9,2	9,5
Índice de regeneración	5,8	10	3,4

Conclusiones generales

Como resultado de las actuaciones forestales llevadas a cabo en los tres casos demostrativos se observan resultados contrastados según cual sea el indicador medioambiental analizado. A continuación, se describen las principales conclusiones para cada uno.

Secuestro de CO₂

En todos los casos demostrativos se ha obtenido una reducción del stock de carbono (entre un 10 y un 65% del stock previo a la intervención). Los valores son negativos porque se ha extraído, en mayor o menor medida, una cantidad de madera.

Sin embargo, dependiendo del destino de la madera extraída estas diferencias se pueden considerar emisiones directas de CO₂ o mantenimiento de la capacidad de sumidero. Si el producto generado tiene como destino biomasa para producir energía entonces se pueden considerar emisiones directas de CO₂ aunque al substituir combustibles fósiles, típicamente gasóleo o gas para calefacción, se podrían considerar emisiones evitadas de gases de efecto invernadero. En cambio, si el producto es madera para construcción o para fabricación de muebles, las emisiones no son instantáneas de manera que no se deben considerar como emisiones de CO₂. En este caso, estas emisiones van a depender de la vida media de los productos obtenidos.

Por otra parte, como consecuencia de las actuaciones, los pies liberados van a aumentar su tasa de crecimiento desde el primer año después de la actuación lo que va a suponer un incremento muy significativo del secuestro de CO₂ en los próximos años.

Estabilidad

La estabilidad de la masa forestal se ha mantenido o ha mejorado ligeramente a corto plazo en todos los casos demostrativos (entre un 0 y 15%). Esta mejora es debida a que en todas las actuaciones se han eliminado, en mayor o menor medida, aquellos pies con mayor índice de esbeltez (más altos y delgados) y, en consecuencia, menos estables frente a fenómenos extremos como el viento o la nieve.

Protección contra incendios forestales

En todos los casos demostrativos se ha mantenido o se ha conseguido una menor vulnerabilidad al fuego de copas reduciendo la probabilidad de que,

llegado un incendio, este se propague por las copas incrementando la virulencia, intensidad del fuego y reducir las opciones de extinción. Solo en el caso de Vall Figuera (C3) se mantiene un valor elevado de vulnerabilidad al fuego (tipo A) de copas debido a que la actuación es de muy baja intensidad ya que no se ha incidido en reducir el combustible de escala ni el de superficie. Sin embargo, este no era un objetivo preferente y no se trata de una zona cuyo riesgo de incendio forestal sea excesivamente elevado.

Protección del suelo contra la erosión

El riesgo de erosión ha incrementado en todos los casos coincidiendo los más elevados en los rodales donde las actuaciones han conllevado una reducción más significativa del dosel arbóreo. Sin embargo, este aumento del riesgo de erosión se ha calculado teniendo en cuenta solo el cambio de la cubierta arbórea que, en mayor o menor medida, se ha reducido en todos los casos. En consecuencia, el valor calculado es la máxima erosión posible ya que en las zonas abiertas (sin cubierta vegetal) se ha considerado que el suelo está desnudo y, por lo tanto, totalmente expuesto. La realidad es algo diferente, sobre todo en algunos casos demostrativos de Vall Figuera, y los rodales de la Comunidad Valenciana donde en las partes descubiertas se mantiene, incluso después de la intervención, una cubierta vegetal ya sea hojarasca, matorral o pasto que sigue protegiendo el suelo. Además, en todos los casos, en unos 5-10 años, el cierre del dosel arbóreo volverá a proteger el suelo de la erosión.

Estado de salud

El estado de salud se ha cuantificado mediante 3 indicadores complementarios: defoliación, decoloración y porcentaje de pies muertos. En la mayoría de las acciones demostrativas los valores para estos indicadores empeoran muy ligeramente o mejoran de manera discreta. De todas formas, en todos los casos los valores de estado de salud son elevados y las escasas situaciones en las que empeora, lo hace de manera muy poco significativa con lo que se pueden considerar muy poco relevantes. Es de esperar que, a medio plazo, como resultado de los tratamientos, el estado general de salud mejore dada la mayor cantidad de recursos disponibles, sobre todo hídricos, para los pies que se permanecen en el bosque.

Mejora del hábitat para especies saproxílicas

Para evaluar este indicador se utiliza la cantidad de madera muerta puesta a disposición de las especies saproxílicas. En general, se mantienen cantidades de madera muerta total, ya sea en pie o en el suelo, baja, de entre 2 y 5 m³/ha

en la mayoría de los casos. En algunos casos aumenta ligeramente como consecuencias de los tratamientos ya sea porque no se ha retirado la que ya había o ya sea porque se ha generado y se ha dejado en el monte. Aunque las cantidades sean pequeñas ya constituyen un recurso suficiente como para mantener una población estable de especies saproxílicas siempre que se garantice un mantenimiento de cantidades similares, o incluso algo mayores, en el futuro.

Vulnerabilidad a la sequía

En relación con el riesgo a la sequía el ámbito que se puede cambiar con las actuaciones es la vulnerabilidad y sus dos componentes: la susceptibilidad y la falta de capacidad de recuperación. En general se observa una ligera reducción de la vulnerabilidad a la sequía que es consecuencia básicamente de la disminución de la susceptibilidad consecuencia, sobre todo, del indicador del área basal y de manera menos evidente, para algunas actuaciones, debido al indicador relativo al diámetro medio. Con el tiempo es de esperar una mejora de otros indicadores que permitirán reducir todavía más la vulnerabilidad a la sequía. Indicadores como el número de clases diamétricas, la regeneración, que es previsible que aumenten a medio plazo como consecuencia de la apertura del dosel arbóreo, van a redundar en una reducción todavía mayor de la vulnerabilidad a la sequía. Además, se prevé un aumento de la proporción de otras especies menos vulnerables a la sequía en algunos de los rodales demostrativos.