



Guía de gestión forestal para la adaptación al cambio climático de los bosques pirenaicos

Noviembre de 2019



Coordinaci3n: Llu3s COLL, Rapha3l DELPI

Autores: Teresa BAIGES ZAPATER; Julio-Jesus CAMARERO MARTINEZ; Miquel DE C3CERES; Pere CAZALS; Alejandro CANTERO AMIANO; Teresa CERVERA ZARAGOZA; Llu3s COLL; Rapha3l DELPI; Benjamin KOMAC; Santiago MARTIN; Laura NAVARRO PEREZ DE PIPA3N; Noem3 PALERO MORENO; Julie PARGADE; Emmanuel ROUYER; Thomas VILLIERS.

Mapa: Philippe DREYFUS

SOCIOS



SOCIOS ASOCIADOS



COFINANCIADORES



1 ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN: EL PROYECTO CANOPEE	5
2	BASES TÉCNICAS Y ECOLÓGICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE GESTIÓN PARA LA ADAPTACIÓN.....	7
2.1	CLARAS Y CLAREOS.....	7
2.2	ADAPTACIÓN DEL DIÁMETRO DE APROVECHAMIENTO	15
2.3	ELECCIÓN DE LAS ESPECIES Y DE SUS ORÍGENES EN EL MOMENTO DE LAS PLANTACIONES.....	20
2.4	REDUCCIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO	23
2.5	DIVERSIFICACIÓN.....	26
3	PARCELAS DEMOSTRATIVAS Y RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS	33
3.1	MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS.....	34
3.2	PINÓS (LLEIDA).....	36
3.3	BOUCHEVILLE (PYRÉNÉES-ORIENTALES).....	42
3.4	ESPEZEL (AUDE).....	47
3.5	POBLET (TARRAGONA).....	52
3.6	EZPROGUI (NAVARRA).....	59
3.7	SAINT LAURENT BRETAGNE (PYRENEES ATLANTIQUES).....	65
3.8	SAINT LAURENT DE CERDANS (PYRENEES ORIENTALES)	71
3.9	RIEUCAZÉ (HAUTE-GARONNE).....	77
3.10	VILLANÚA (ARAGÓN).....	82
3.11	ENCAMP (ANDORRA).....	88
3.12	VITORIA (ÁLAVA).....	94
4	CONCLUSIONES.....	109
5	BIBLIOGRAFÍA.....	111
6	TABLA DE CONTENIDO.....	123



1 INTRODUCCIÓN: EL PROYECTO CANOPEE

El bosque ocupa más de la mitad de la superficie de los Pirineos y aporta, tanto a escala local como regional, numerosos bienes y servicios (producción de madera, protección del suelo, regulación del régimen hídrico, ocio, etc.).

El cambio climático puede dificultar en gran medida la multifuncionalidad de los bosques pirenaicos provocando procesos de decaimiento de algunas masas productoras o protectoras, alteraciones notables de hábitats de interés y la deterioración del marco paisajístico y ambiental forestal.

Por este motivo, resulta cada vez más evidente que los gestores forestales de los Pirineos han de anticiparse a estos cambios desarrollando conjuntamente herramientas que mejoren el conocimiento y sean de ayuda para la toma de decisiones a la hora de implementar acciones de adaptación en el territorio.

Fruto de un amplio partenariado de técnicos e investigadores forestales españoles, andorranos y franceses, el proyecto CANOPEE aspira a aportar elementos de respuesta concretos a los efectos del cambio climático en los bosques del Pirineo y a las opciones de adaptación que éstos presentan.

En este contexto, el proyecto pretende:

- Reforzar y ampliar el seguimiento de la fenología de las principales especies forestales de los Pirineos,
- Desarrollar una herramienta para caracterizar la vitalidad de los árboles de la cadena pirenaica y su vulnerabilidad al cambio climático,
- Cartografiar la distribución y la vulnerabilidad (actual y futura) de las principales especies forestales de los Pirineos según los distintos escenarios de cambio climático,

- Elaborar e implementar acciones de gestión adaptativa para minimizar los impactos esperados.

El fin específico del presente manual es contribuir al último objetivo. Para ello presenta los primeros resultados de acciones de gestión forestal para la adaptación que se han llevado a cabo en once bosques del Pirineo. Éstos sido seleccionados para cubrir un gradiente amplio y representativo en términos de condiciones estacionales y de tipologías forestales.

Así, que el fin de este documento es dar a conocer:

- Las bases teóricas y ecológicas en las cuales se basan estas actuaciones
- Una red de parcelas demostrativas establecidas en distintos tipos de bosque y distribuidas a lo largo del macizo pirineico en el que se han aplicado actuaciones para la adaptación de las masas forestales al cambio climático.

Esta última parte presenta la descripción de los tratamientos de manera suficientemente detallada como para permitir a los gestores tomar una decisión informada sobre itinerarios eventuales que deseen poner en práctica en ámbitos similares.

Ya no es tiempo de expectativas sino de acción, una acción que se nutre de la adquisición de conocimiento y saberes locales compartidos.

2 BASES TÉCNICAS Y ECOLÓGICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE GESTIÓN PARA LA ADAPTACIÓN

2.1 CLARAS Y CLAREOS

2.1.1 Aspectos generales

Los clareos y las claras son cortas parciales que se practican en un rodal regular con el objetivo de mejorar la estabilidad y calidad de la masa, eliminando los pies peor conformados, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes. Por otra parte, los resalvos se definen como un tratamiento particular del monte bajo por el que se reservan ciertos pies de las cepas (resalvos) para su aprovechamiento en cortas posteriores. En esencia se trata de un tratamiento homologable a los clareos y las claras, con la particularidad de que se actúa sobre pies de monte bajo, es decir, con múltiples brotes de cepa o de raíz. Con carácter general, a través de la aplicación de clareos, claras y resalvos se busca:

- La reducción de la competencia para procurar estabilidad biológica.
- Mejorar el estado sanitario del rodal.
- Regular o mantener la composición específica.
- Anticipar la producción y maximizarla.
- Incrementar el valor y dimensiones de los productos.

El tipo de clareo, clara o resalvo en términos de frecuencia, tiempo, intensidad y criterios de selección puede afectar a todos estos aspectos, pero en especial a dos características básicas del rodal, que son su composición específica y su estructura vertical y horizontal (Jactel et al., 2009). En adelante se usa el término clara como simplificación para referirse a este conjunto de tratamientos selvícolas.

La **frecuencia** junto a la **intensidad de la clara** tendrá un efecto sobre la reacción al tratamiento,

tanto en los árboles remanentes del dosel, como en la vegetación del resto de estratos. Intervenciones menos intensas, pero más frecuentes darán como resultado una reacción más lenta pero sostenida en el tiempo. Sin embargo, intervenciones más intensas darán lugar a reacciones más bruscas, que, dependiendo del temperamento de las especies, podrían llegar a ser negativas (i.e. en el caso de especies tolerantes con una mala reacción a la puesta brusca en luz).

El **tiempo** o momento en el ciclo de desarrollo del rodal en el que se ejecute el tratamiento también afectará a esta reacción. En términos generales, los pies más jóvenes tienen mayor capacidad de reacción, aunque nuevamente existe variabilidad entre especies con relación a este aspecto. Ciertas especies, en especial las más tolerantes y las más longevas, conservan una elevada capacidad de reacción hasta edades más avanzadas.

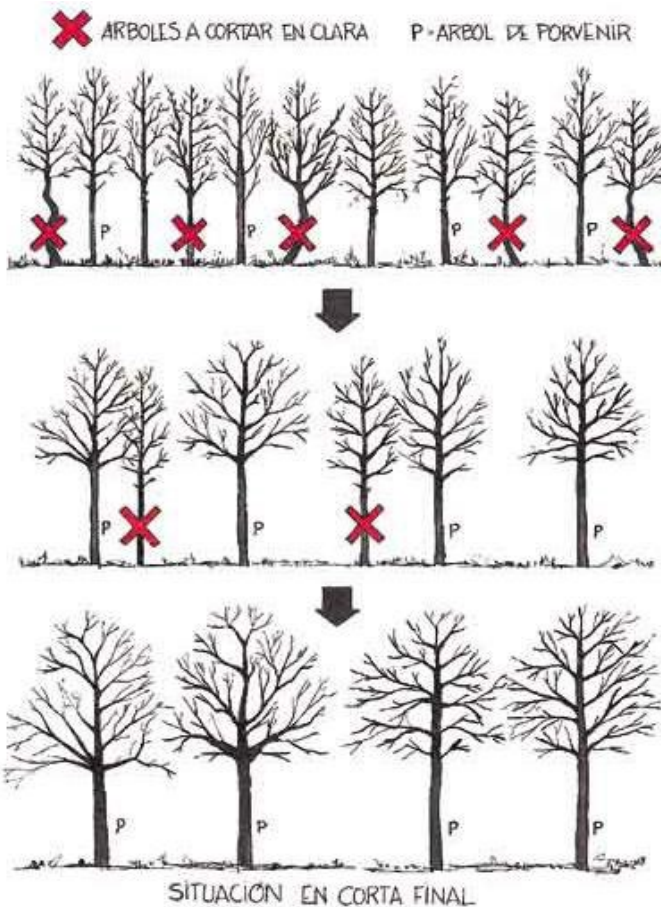


Figura 1 Esquema ilustrativo del tratamiento selvícola de claras a lo largo del desarrollo del rodal entre las fases de latizal y fustal. Fuente: Manual de selvicultura del castaño en Galicia (Álvarez et al., 2000)

Los **criterios de selección** son el factor que más afectará a las futuras características estructurales y composicionales del rodal. Uno de los criterios de selección es el que atiende a las clases sociológicas del arbolado. En este sentido, una selección típica de claras por lo bajo, que afecta casi únicamente a pies dominados y sumergidos, dará lugar a una estructura vertical más regular y homogénea, mientras que, en el extremo opuesto, una selección típica de claras por lo alto, que afecta únicamente a pies dominantes y codominantes, dará lugar a una estructuración vertical más irregular y heterogénea. Otro de los criterios de selección es el que atiende al vigor o estado sanitario de los individuos. A través de la selección positiva de los pies de mayor vigor se producirá una vigorización del rodal, la cual también lleva asociada una cierta homogenización de este, perdiendo elementos singulares que pueden tener interés para la creación de microhábitats favorecedores de la biodiversidad. El criterio de selección específica, por su parte, afectará indudablemente a la composición futura del rodal, y también a su estructura cuando las especies presentes tienen diferentes características morfológicas. Finalmente cabe apuntar el criterio de selección espacial. En función de si la selección de pies a eliminar se distribuye espacialmente de manera uniforme o agrupada, por ejemplo, abriendo luz a individuos o corros de regeneración avanzada de la misma u otras especies, las características estructurales y composicionales del rodal resultante serán marcadamente diferentes.

2.1.2 Los tratamientos de clara como mecanismo de adaptación

La silvicultura para la adaptación al cambio climático es la respuesta técnica a los impactos observados y esperados del cambio climático sobre nuestros bosques. Ésta incluye un conjunto de intervenciones cuyos objetivos son (García-Güemes y Calama, 2015):

- Reducir la vulnerabilidad de los bosques frente a los impactos asociados a las nuevas condiciones climáticas;
- Potenciar la resiliencia y capacidad de adaptación de los bosques, garantizando en cualquier caso la consecución de los objetivos definidos para la gestión forestal en estos nuevos escenarios (Lindner et al., 2010)

A partir de estas dos ideas generales la silvicultura para la adaptación define una serie de principios que se traducen en prácticas determinadas. La mayor parte de estas prácticas son aplicables a través de los tratamientos de claras y resalveos. Dicho de otra forma, estos tratamientos selvícolas pueden realizarse de manera que promuevan determinadas características favorables para la adaptabilidad de los montes al cambio climático.

Las claras generalmente aumentan el vigor individual de los árboles remanentes de todas las especies que coexisten, y pueden desempeñar un papel importante en la mitigación de los efectos de los eventos prolongados de sequía y las olas de calor. En este contexto, la práctica de las claras puede amortiguar los efectos del cambio climático en la región reduciendo la mortalidad natural de árboles en pie, controlando la competencia por los recursos subterráneos, aumentando la resistencia a la baja humedad del suelo y mejorando la recuperación en los años subsiguientes tras los períodos secos (Garber y Maguire, 2004; Martín-Benito *et al.*, 2010; De-Dios-García *et al.*, 2015; del Campo *et al.*, 2019b). Como ejemplo, las claras pueden aliviar el estrés por

sequía y fomentar la capacidad de recuperación del crecimiento de los árboles remanentes en el límite altitudinal inferior de especies montanas con una alta demanda de agua, como *Pinus sylvestris* (Ameztegui *et al.*, 2017). Lo mismo se ha observado en el límite de distribución superior de *Pinus nigra*, que domina las condiciones de montaña más suaves (Marqués *et al.*, 2016), en el caso concreto de las masas mixtas *Pinus-Quercus* en estaciones submediterráneas, o en las masas puras de *Quercus* mediterráneas, donde las claras estimulan el crecimiento radial y mejoran el balance hídrico, incluso bajo episodios de sequía extrema (Aldea *et al.*, 2017; del Campo *et al.*, 2019a; Vicente *et al.*, 2018).

Además de aliviar el estrés por sequía, las claras han demostrado ser una poderosa herramienta de gestión para reducir el combustible forestal (Jactel *et al.*, 2011; Canellas *et al.*, 2004; Crecente-Campo *et al.*, 2009). Este hecho tiene una gran importancia para la persistencia de los bosques en el contexto de cambio climático, en el que se prevé un incremento de la severidad y la recurrencia de los grandes incendios forestales (Lindner *et al.*, 2010). Una de las reglas básicas para gestionar el combustible forestal es reducir la densidad de la copa para minimizar la probabilidad de que se produzca un fuego de copas, siendo las claras, en especial aquellas ejecutadas por lo bajo, de gran ayuda para reducir el riesgo y la intensidad de este tipo de fuegos a corto plazo (Peterson *et al.*, 2005; Agee y Skinner, 2005).

Es también conocido el efecto positivo de las claras en la estabilidad de la masa frente a perturbaciones relacionadas con el viento y la nieve (Cameron, 2002), también cada vez más frecuentes e intensas (Schelhaas *et al.*, 2010). Esta mejora se produce a través de la reducción de la esbeltez, la mejora de la conformación de las copas y la mayor profundización de los sistemas radicales al reducir la competencia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las claras muy intensas practicadas sobre masas muy densas, pueden tener un efecto desestabilizante a corto plazo frente a estos fenómenos, debido fundamentalmente al aumento de la penetrabilidad del viento en el rodal (Quine *et al.*, 1995).

Tal y como se describía anteriormente, las claras ofrecen al gestor la oportunidad de influir en la composición específica del rodal, favoreciendo a aquellas especies más adaptadas a las nuevas condiciones, o simplemente promoviendo diversidad de grupos funcionales, lo que se traduce en masas más resilientes. No obstante, debe tenerse en cuenta que la intensidad y características de la intervención deben satisfacer a los requerimientos ecológicos de las especies a promover y estar ajustados a las condiciones ambientales locales. Por ejemplo, claras demasiado intensas en localizaciones propensas a la sequía pueden suponer un problema para la regeneración, o para el desarrollo de juveniles presentes en el subsuelo, pues en estos casos el efecto de facilitación del dosel superior sobre el estrato inferior es clave para la supervivencia de plántulas y árboles jóvenes (Ledo *et al.*, 2014; Barbeito *et al.*, 2008; Manso *et al.*, 2012; Martín-Alcón *et al.*, 2015).

Como cualquier tratamiento selvícola, las claras abren varios caminos de infección por patógenos o plagas que posteriormente pueden afectar a la masa remanente. Sin embargo, como norma general, las claras provocan una mejora del vigor individual de los árboles remanentes, reduciendo así su susceptibilidad a un buen número de plagas y patógenos forestales. Además, a través

del fomento de la diversidad específica y estructural realizado mediante las claras, se contribuye a incrementar tanto la resistencia como la resiliencia del rodal a estos agentes bióticos (Jactel *et al.*, 2009).

En resumen, las claras pueden favorecer la adaptabilidad de los montes al cambio climático a través de los siguientes procesos (García-Güemes y Calama, 2015):

- **Incremento de la diversidad inter e intraespecífica:** Una base genética y específica amplia permiten una mayor resistencia, resiliencia y capacidad adaptativa frente a alteraciones climáticas, ya que se amplía el rango de condiciones ecológicas compatibles con la presencia de una cubierta forestal. Asimismo, una alta diversidad intra- e interespecífica permite seleccionar de manera natural los individuos mejor adaptados a las nuevas condiciones.
- **Incremento de la diversidad estructural:** Los distintos grupos de tamaño o edad presentan un distinto grado de susceptibilidad o vulnerabilidad que a un determinado daño biótico o abiótico. Favorecer la diversidad de tamaños, morfologías y edades a través de las claras resultan en una mayor resistencia y resiliencia frente a la mayor parte de perturbaciones que afectan a nuestros bosques.
- **Incremento de la resistencia individual frente a agentes bióticos y abióticos:** A través de la reducción periódica de la densidad se incrementa progresivamente la superficie de crecimiento potencialmente disponible para cada individuo. Esto favorece que cada individuo alcance su mayor potencial de crecimiento y desarrollo, lo que le dotará del mayor vigor posible, reduciendo su vulnerabilidad y aumentando su capacidad adaptativa frente a alteraciones climáticas.
- **Promoción/aceleración de cambios de estructuras o especies:** El incremento del déficit hídrico puede disminuir el vigor de los árboles, provocando fenómenos de decaimiento y/o mortalidad masiva, asociados a la interacción de la sequía y agentes patógenos o plagas. Esta circunstancia puede ser especialmente crítica en aquellas áreas en las que la vegetación se encuentra en el límite de su rango de habitabilidad. Desde un punto de vista adaptativo, se debe promover el cambio de estructuras y de especies de manera proactiva, potenciando la introducción y la progresión en el rodal de aquellas especies y variedades mejor adaptadas a un rango futuro de condiciones.

Tal y como indican García-Güemes y Calama (2015), es fundamental tener presente que la implementación de una selvicultura encaminada a la adaptación requiere una flexibilización en la programación de actuaciones. En este contexto pierden fuerza conceptos clásicos en la gestión forestal como son el turno de renovación de la masa forestal, la programación y planificación de intervenciones a medio y largo plazo (i.e. programas de claras), o la definición de la posibilidad maderera (volumen maderable a extraer al objeto de garantizar la máxima renta y la renovación de la masa), reforzándose la idea de aplicar una selvicultura mucho más particularizada en el espacio y en el tiempo (Puettmann *et al.*, 2013). Esta selvicultura debe estar basada en la in-

tervención en el momento adecuado, de forma que se permita una rápida respuesta ante una perturbación desfavorable o un evento favorable (selvicultura de adaptación reactiva). Por otra parte, debe ser lo suficientemente flexible como para poder responder a un amplio e incierto rango de condiciones climáticas futuras (selvicultura de adaptación proactiva). La finalidad de esta selvicultura será orientar a la masa a un estado compatible con un amplio rango de estados finales objetivo.

2.1.3 El caso particular de las masas mixtas de *Pinus* y *Quercus* regeneradas tras incendio en el contexto submediterráneo

Los bosques de quercíneas mediterráneas presentan, en general, una gran capacidad rebrotadora, y por tanto una gran resiliencia frente a un buen número de perturbaciones. No en vano, aprovechando esta capacidad, éstas fueron tratadas históricamente mediante cortas muy frecuentes para la producción de leña, carbón vegetal y pastos. Los tallares de *Quercus pubescens* y/o *Quercus faginea* en las sierras del Prepirineo son un buen ejemplo de este tipo de formaciones. El tratamiento aplicado en estas masas fue durante largos periodos el de monte bajo regular, con turnos de entre 15 y 30 años, y sin aplicación de tratamientos parciales o intermedios.

No obstante, la abundancia actual de estos robledales en la montaña mediterránea podría ser muy inferior a la que tuvo lugar en ciertos períodos del pasado (Carrión *et al.*, 2000). En buena parte de la superficie potencialmente apta para estas especies, las prácticas asociadas al pastoreo intensivo prolongadas durante décadas e incluso siglos, mantuvieron formaciones muy abiertas o adehesadas, compuestas por pocos pies de gran tamaño y edad, fundamentalmente de *Pinus* y *Quercus*, y sin apenas regeneración. Estas masas, de las que todavía quedan vestigios, pudieron ser mantenidas artificialmente durante largos periodos a través los usos pastorales en amplias zonas de la montaña mediterránea.

La larga historia de usos antrópicos intensivos en la montaña mediterránea alcanzó sus máximos durante finales del siglo XIX y primera mitad del siglo XX (García-Ruiz *et al.*, 1996). Ya en la segunda mitad del siglo XX ocurrieron importantes cambios socioeconómicos que llevaron a procesos generalizados de abandono de tierras en áreas marginales, abandono o reducción drástica del pastoreo, y a la intensificación del uso de la tierra en valles amplios y regiones costeras. Como resultado de estos cambios se produjeron procesos de crecimiento y densificación de las masas forestales en zonas de montaña. En el caso que nos ocupa condujeron, en la mayoría de los casos, a una ocupación progresiva de los espacios abiertos y adehesados por parte de las especies pioneras (i.e. los pinos). Así se formaron, al abrigo de las antiguas formaciones adehesadas cuyos árboles actuarían de fuente semillera, densos pinares como los dominados por *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* y *Pinus sylvestris* en numerosas sierras del Prepirineo (Lasanta-Martínez *et al.*, 2005; Vicente-Serrano *et al.*, 2005).

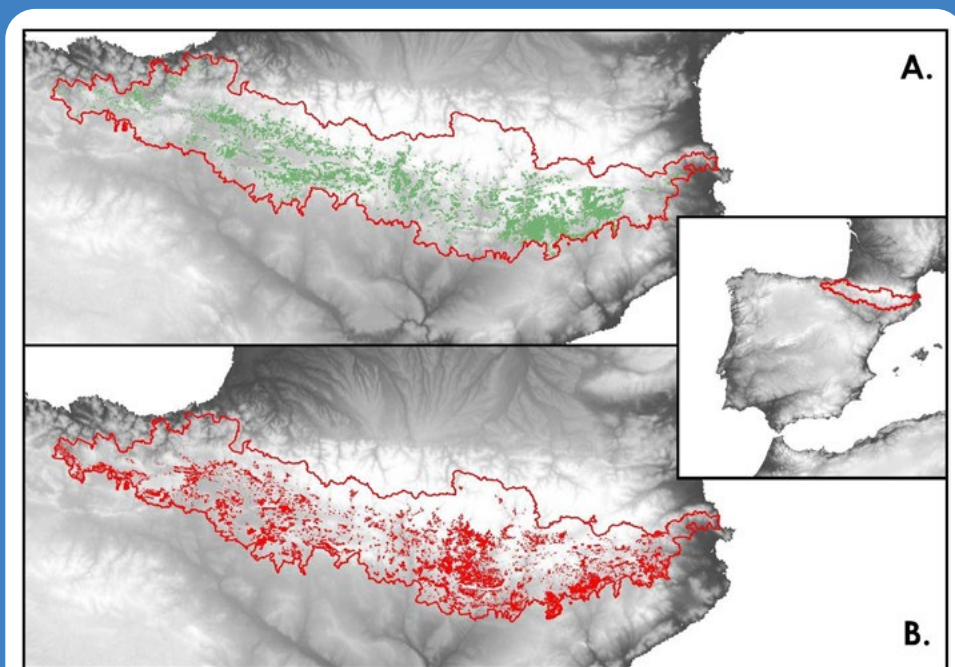


Figura 1 Figura distribución de la dominancia de pinares de *Pinus nigra* o *Pinus sylvestris* (A) y robledales de *Quercus pubescens* o *Quercus faginea* (B) en el piso submediterráneo del área pirenaica en España. Fuente: Mapa Forestal de España ed. 2015.

Estas nuevas cohortes de pinares fueron progresivamente alcanzando fases de desarrollo más avanzadas (i.e. latizales y fustales) y mejorando las condiciones microestacionales (i.e. de suelo y microclima), iniciándose un proceso todavía activo de colonización del sotobosque por arbustos y especies de árboles de niveles sucesionales más avanzados, principalmente especies de *Quercus* (Urbiet *et al.*, 2011; Martín-Alcón *et al.*, 2015) southern Spain. Estas especies se consideran en general intolerantes o de tolerancia intermedia a la sombra, pero requieren de cierto sombreado durante su fase de establecimiento, especialmente cuando crecen en condiciones climáticas estresantes (Lookingbill y Zavala, 2000; Broncano *et al.*, 1998).

Otra perturbación, los grandes incendios forestales, es la que actualmente está devolviendo a los robledales la dominancia que habían perdido en extensas superficies, tal y como ya sucedió en ocasiones anteriores en la historia de estos sistemas, según los análisis polínicos existentes (Carrión *et al.*, 2000). Aunque los grandes incendios forestales han sido frecuentes en el bosque mediterráneo desde antes del Cuaternario, éstos son relativamente nuevos en la historia reciente de nuestros bosques (Pausas *et al.*, 2008). Los grandes incendios han afectado recientemente a grandes superficies dominadas por especies del género *Pinus* poco adaptadas a los mismos (i.e. *Pinus nigra* o *Pinus sylvestris*), dando lugar a importantes cambios de vegetación hacia formaciones dominadas por especies del género *Quercus* (Martín-Alcón y Coll, 2016; Puerta-Piñero *et al.*, 2012; Rodrigo *et al.*, 2004).



Figura 1 Imágenes de robleal de *Quercus pubescens* y *Quercus faginea* rebrotado tras incendio en antiguas masas dominadas por *Pinus nigra*, y con presencia variable de regenerado de esta especie. Invierno de 2014, aproximadamente 15 años después del incendio. Fuente: FiDBosc-CTFC.

Actualmente nos encontramos en la montaña mediterránea con una superficie nada desdeñable de robleales y otros bosques de quercíneas rebrotadas tras incendio en superficies que anteriormente fueron dominadas por los pinos. Estos robleales, en los que también encuentran su sitio los pinos regenerados desde los bordes del incendio e islas no quemadas (Gracia *et al.*, 2002; Sánchez-Pinillos *et al.*, 2018), deben gestionarse adecuadamente con el fin de asegurar la estabilidad del bosque a medio y largo plazo.

En la línea de los tratamientos descritos anteriormente, la silvicultura para la adaptación al cambio climático en estas masas deberá seguir las siguientes directrices:

- **Incremento de la diversidad inter e intraespecífica:** Favorecer en todo caso la mezcla de especies, liberando de competencia a aquellos individuos de especies menos representadas e incluso de presencia esporádica. Igualmente, siempre que sea posible, favorecer los elementos singulares de cada especie (i.e. individuos con singularidades morfológicas, fisiológicas o fenológicas aparentes).
- **Incremento de la diversidad estructural:** Seleccionar los individuos a mantener de manera que se favorezca la diversidad de tamaños, morfologías y edades. Actuar con intensidad variable en el espacio de manera que se creen espacios y agrupaciones de árboles de diferentes características a lo largo del rodal.

- **Incremento de la resistencia individual frente a agentes bióticos y abióticos:** Reducir la competencia de los individuos a mantener de manera que se incremente la superficie de crecimiento potencialmente disponible, lo que les dotará del mayor vigor posible.
- **Promoción/aceleración de cambios de estructuras o especies:** Favorecer la entrada y el desarrollo de elementos que por sus requerimientos ecológicos pueden estar mejor adaptados a un rango futuro de condiciones, como la encina (*Quercus ilex*) o el pino carrasco (*Pinus halepensis*) en el contexto de las masas mixtas de *Pinus* y *Quercus mediterráneas*.

2.2 ADAPTACIÓN DEL DIÁMETRO DE APROVECHAMIENTO

2.2.1 ¿En qué caso es pertinente la adaptación del diámetro de aprovechamiento?

Es importante asumir el hecho de que la edad de los árboles es uno de los principales factores de vulnerabilidad al estrés hídrico. La adaptación del diámetro de aprovechamiento puede contemplarse principalmente en dos casos, en función de las características del rodal y de las condiciones técnico-económicas.

2.2.1.1 Caso de masas con poca mezcla de especies y sin posibilidad técnica o financiera de realizar una transformación por plantación

La cuestión de adaptar el diámetro de aprovechamiento se plantea cuando la especie objetivo se puede mantener pero hay un riesgo de decaimiento evidente o probable antes de que se haya alcanzado el diámetro de aprovechamiento. En este caso, el gestor forestal considera que, a pesar de la vulnerabilidad, se podrá recuperar la masa y mantener la misma especie objetivo, cualquiera que sea el tratamiento. Así, y para atenuar el riesgo de depreciación, se elige entonces reducir el diámetro de explotabilidad. Además, puede haber casos en los que aunque un cambio de especie objetivo sea deseable, resulta técnicamente imposible o no rentable económicamente realizar la plantación. En estas situaciones, reducir el diámetro de aprovechamiento puede ser una solución de compromiso a tener en cuenta cuando no se puede elegir otra especie en mezcla.

2.2.2 El principio teórico de la adaptación del diámetro de aprovechamiento en función del riesgo

2.2.2.1 Análisis técnico-económico sin tomar en cuenta el factor riesgo

La elección de un diámetro de explotación es el resultado de un análisis técnico-económico que incluye:

- El crecimiento en volumen y en diámetro de la masa según la fertilidad,
- El precio de venta en €/m³ incluyendo la calidad tecnológica prevista de la masa,
- Los gastos realizados a lo largo de la rotación,
- Las condiciones de explotación.

Con los riesgos asociados a los decaimientos (sequía, canícula) y a las tempestades, hay que valorar ahora el factor riesgo h en el análisis técnico-económico.

Existen distintos métodos para determinar una edad de aprovechamiento óptima. Todos los métodos contemplan la edad y no el diámetro del rodal.

El método utilizado con más frecuencia es el Beneficio Actualizado en Secuencia Infinita (BASI), o criterio de Faustmann (1849). Para optimizar la elección de la edad de aprovechamiento hay que maximizar el BASI.

La fórmula del BASI es la siguiente::

$$\text{BASI} = \sum_{a=0}^n \frac{(R_a - D_a)(1+r)^{n-a}}{(1+r)^n - 1}$$

Siendo:

- a , la edad de la masa, variando de 0 a n ,
- R_a , los ingresos a la edad a ,
- D_a , el gasto a la edad a ,
- r , el tipo de actualización (fijado generalmente alrededor de un 3%).

Basta entonces con tomar el valor de « a » en el que el BASI alcanza su máximo. Este valor corresponde a la edad óptima de aprovechamiento:

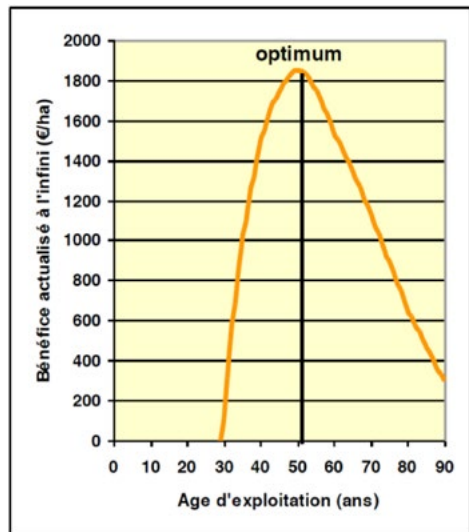


Fig. 1: Evolución del BASI en función de la edad, ejemplo del pino marítimo (Peyron, 2014)

Este enfoque parte de la hipótesis de que los crecimientos y los precios son previamente conocidos con certeza. Permite tener una visión pertinente de la situación óptima de la cosecha, pero no valora el factor riesgo.

2.2.2.2 Análisis técnico-económico valorando el factor riesgo

Reed (1984) introduce la noción de riesgo en el cálculo de la optimización del BAsI en trabajos sobre el riesgo de incendio, considerado como independiente de la edad del rodal.

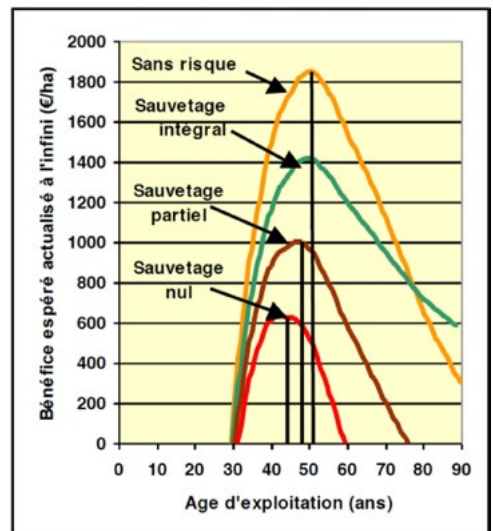
Para caracterizar la perturbación, se utilizan dos parámetros :

- la probabilidad I , media de ocurrencia anual (independiente de la edad),
- la posibilidad de vender la madera y el valor de los bosques afectados después de la perturbación. La recuperación de los ingresos de la venta puede ser integral (totalidad de la madera afectada vendida sin descuento), parcial o nula (ningún ingreso de la madera afectada).

Más en concreto, el impacto de la introducción del riesgo en la rotación óptima equivale a aumentar el tipo de actualización de r a $r+\lambda$ en el criterio de Faustmann (cf más arriba). Esto induce el hecho de que cuanto más tiempo pasa más coste ligado al riesgo se añade al coste original.

Lógicamente, el beneficio esperado disminuye cuando se introduce la noción de riesgo, pero cuando la capacidad de recuperación de ingresos es integral, el óptimo de aprovechamiento casi no se modifica. En cambio, cuando se trata de un episodio de decaimiento después de sequía/canícula, la edad óptima baja cuanto más débil es la posibilidad de obtener ingresos del monte afectado

Fig. 2: Efecto de la valoración del riesgo y de la posibilidad de comercialización en la edad de aprovechamiento y el valor del bosque, ejemplo del pino marítimo (Peyron, 2014).



Reed ha trabajado sobre el riesgo de incendio cuya ocurrencia es independiente de la edad. El problema se trata entonces de manera analítica, por medio de una ecuación (ver el gráfico precedente como ejemplo). Este enfoque simplificado permite entender el mecanismo vinculado con la edad de aprovechamiento.

Ahora bien, la realidad es más compleja. El riesgo de decaimiento después de un episodio de sequía/canícula depende de la edad: cuanto mayor es la masa, más sensible es. Por consiguiente, el riesgo vinculado a la sequía/canícula reduce aún más la edad de aprovechamiento que si se tratara de un episodio independiente de la edad.

La resolución matemática para determinar la edad óptima ya no se hace de manera analítica sino con un método iterativo numérico para acercarse al resultado. La conclusión es entonces la misma, aunque no se visualice con una ecuación:

- **cuanto mayor es la probabilidad de ocurrencia del riesgo, más disminuye la edad de aprovechamiento (más en el caso de la sensibilidad a la sequía/canícula, que está ligada a la edad),**
- **cuanto más baja es la posibilidad de comercialización de la madera afectada, más disminuye la edad de aprovechamiento.**

Un punto importante es que no se trata aquí de decir qué sacrificio de cortabilidad se admite en caso de riesgo. En realidad, el riesgo de decaimiento conlleva una disminución de la situación óptima de aprovechamiento. Pero el objetivo es tomar elecciones óptimas, integrando los riesgos.

2.2.3 Las consecuencias prácticas en la elección del diámetro de aprovechamiento en función del riesgo

El enfoque teórico permite poner de relieve de manera objetiva los criterios que inciden en la elección de los diámetros de aprovechamiento:

- La probabilidad de que ocurra una perturbación sequía/canícula provocando decaimientos y mortalidades,
- La posibilidad de comercialización, es decir los ingresos que se pueden conseguir vendiendo la madera afectada. A priori, cuanto más severo es el episodio climático (pérdida rápida de la calidad de la madera) y extenso geográficamente (mercado de la madera saturado) más baja será la posibilidad de obtener ingresos de la venta de la madera afectada.

Se trata de establecer concretamente cómo estas conclusiones pueden modificar los diámetros de aprovechamiento. Ahora bien, hemos de tener claro que, se trata de **indicaciones que no cuestionan las orientaciones ya vigentes** tanto sobre los Pirineos, como en Francia, España y Andorra y tanto en un bosque público como privado. Es un enfoque paralelo que permite definir posibles orientaciones.

2.2.3.1 Caso particular del monte alto regular

En monte alto regular, hemos de tomar como referencia el diámetro dominante (diámetro medio de los 100 troncos más gruesos) para reflexionar sobre el diámetro del rodal final pero también para evitar tomar en cuenta los casos de exceso de densidad que falsean la reflexión.

Los diámetros de aprovechamiento pueden entonces ser revisados a partir de los siguientes criterios:

Adaptación del diámetro de aprovechamiento	Decaimiento observado y/o masa estimada como muy vulnerable*	No se observa decaimiento ni la masa se estima como medianamente vulnerable*
Frondosas**	Quedarse con un diámetro de aprovechamiento inferior en 5-10 cm, incluso 15 cm para los diámetros mayores.	Quedarse con un diámetro de aprovechamiento inferior en 0-5cm, incluso 10cm para los mayores diámetros
Coníferas**	Quedarse con un diámetro de aprovechamiento inferior en 10-15cm	Quedarse con un diámetro de aprovechamiento inferior en 5-10cm

* La noción de vulnerabilidad debe valorarse a partir de los mapas de vulnerabilidad de la acción « Diagnosticar »

** La elección del rango alto o bajo del diámetro debe ser valorada a partir de la resiliencia potencial del rodal (Cf. método ARCHI)

Para las especies con regeneración larga (ej.: abeto pectinado), es necesario comenzar la regeneración de manera muy anticipada para dejar tiempo al rodal a regenerarse sin tener que afrontar decaimientos masivos. El diámetro de aprovechamiento está en el rango bajo de los diámetros posibles.

Evidentemente, en caso de decaimiento generalizado, la madera del rodal será cortada cualquiera que sea el diámetro, con la condición de que sea comercializable.

2.2.3.2 Caso particular de monte alto irregular

En monte alto irregular, la renovación es difusa y no hay restricción asociada a la duración de regeneración tal y como ocurre en el apartado anterior. En caso de decaimiento rápido de los árboles más gruesos, siempre habrá árboles semilleros para asegurar la renovación.

En cambio, en caso de riesgo, es igual de necesario bajar el diámetro de aprovechamiento óptimo, porque la pérdida de valor potencial es la misma.

Adaptación del diámetro de aprovechamiento	Decaimiento observado y/o masa estimada como muy vulnerable*	No se observa decaimiento o rodal estimado como medianamente vulnerable *
Frondosas**	Diámetro de aprovechamiento inferior en 5-10cm, incluso 15cm para los diámetros mayores	Diámetro de aprovechamiento inferior en 0-5cm, incluso 10cm para los mayores diámetros
Coníferas**	Diámetro de aprovechamiento inferior en 10-15cm	Diámetro de aprovechamiento inferior en 5-10cm

* La noción de vulnerabilidad se contempla a partir de los mapas de vulnerabilidad de la acción « Diagnosticar »

** La elección del rango alto o bajo del diámetro se debe considerar a partir de la resiliencia potencial del rodal (Cf método ARCHI)

2.2.3.3 Caso particular del monte bajo

En este caso, a la vista de los diámetros considerados a menudo como bajos (15 a 25cm), disminuir el diámetro (-5 a -15cm) no tiene mucho sentido.

En caso de riesgo de sequía/canícula comprobado en un monte bajo, resulta necesario estimar la edad de ese monte bajo. Se fija entonces un año límite de aprovechamiento, para no sobrepasar una edad considerada como demasiado arriesgada.

No hay criterios de edad límite para el monte bajo pues los casos pueden ser muy diversos. La edad límite ha de ser estimada caso por caso.

2.2.4 ¿Hacia una necesidad de asociar el diámetro y la edad como estado más favorable para la corta?

El diámetro es el parámetro más utilizado para cualificar la madurez de un rodal desde el punto de vista productivo. Esta elección es lógica porque corresponde a un criterio de comercialización inevitable.

Sin embargo, con una especie, un contexto estacional y un diámetro iguales, un rodal de más edad será más sensible ante un riesgo sequía/canícula. Resulta entonces necesario integrar la noción de **edad límite óptima**, sobre todo para los rodales que han sido manejado con exceso de densidad a lo largo de su ciclo selvícola.

No se hace referencia aquí a las mejores edades por especie o contexto porque sería demasiado complicado, incluso imposible. En cambio, se recomienda mucho llevar a cabo el análisis de la edad en paralelo a la elección del diámetro para definir una pareja « diámetro óptimo/edad límite », cuando los criterios de aprovechamiento deben ser revisados para una masa forestal en situación de riesgo.

2.3 ELECCIÓN DE LAS ESPECIES Y DE SUS ORÍGENES EN EL MOMENTO DE LAS PLANTACIONES

2.3.1 Las bases ecológicas

La distribución de las especies vegetales está determinada por sus exigencias autoecológicas. En efecto, cada especie arbórea ocupa un nicho ecológico específico definido especialmente por sus condiciones edáficas, térmicas e hídricas (Piedallu *et al.*, 2013, Piedallu *et al.*, 2016). Esto explica, entre otras cosas, el escalonamiento de las especies forestales en un entorno de montaña. El calentamiento global puede sin embargo incidir en los ecosistemas forestales actuales perturbando estas áreas ecológicas y los equilibrios competitivos entre especies (Legay, 2014, Lenoir *et al.*, 2008). A título de ejemplo, se han podido constatar tales efectos en hayedos del macizo del Montseny en Cataluña (Peñuelas y Boada, 2003), en el macizo de la Sainte-Baume en Provence-Alpes-Côte d'Azur (Vennetier *et al.*, 2007), en los bosques de cedro del Atlas Medio (Mátyás, 2010)

o también en el caso del haya del suroeste de Hungría (Mátyás *et al.*, 2010).

Aunque las especies sean capaces de migrar para seguir su nicho ecológico, se mantiene la duda en cuanto a la capacidad de los árboles –inmóviles y longevos– de dispersarse a la misma velocidad con la que el clima evoluciona (Bertrand *et al.*, 2011), en particular en el contexto de un paisaje fragmentado donde el bosque, la agricultura y la urbanización conviven y compiten (Legay, 2014).

Para hacer frente a las nuevas condiciones climáticas, algunos forestales contemplan la posibilidad de establecer y favorecer especies menos vulnerables. En efecto, desde el punto de vista silvícola se pretende mantener el estado sanitario y la productividad de los rodales que juegan un papel económico y social de peso en un territorio (Mueller et Hellmann, 2008, Sáenz-Romero *et al.*, 2016). Este enfoque corresponde a la aplicación del concepto de migración asistida, muy desarrollado a partir de los años 2000. Se trata de promover antrópicamente el desplazamiento de especies con el fin de anticiparse a los efectos del cambio climático. Ste-Marie *et al.* (2011) proponen así una terminología para definir tres niveles de migración asistida:

2.3.1.1 Migración asistida de las poblaciones

En el seno de una misma especie, los individuos tienen cierta plasticidad fenotípica o fisiológica (Riou-Nivert, 2014) que puede ser de naturaleza adaptativa (Nicotra *et al.*, 2010). Esto explica la existencia de subespecies o de ecotipos distintos en una misma especie. En el momento de la plantación, es importante la buena elección de la procedencia de la especie en función de las características pedoclimáticas actuales y también de las evoluciones venideras previstas.

2.3.1.2 Expansión asistida de la especie

Hace referencia al desplazamiento anticipado de las especies hacia zonas limítrofes de sus áreas de distribución actuales con el objeto de facilitar y acelerar los procesos naturales de migración.

2.3.1.3 Migración asistida “Larga distancia”

Hace referencia a la introducción de especies en territorios que no serían accesibles para esas especies a través de procesos de dispersión natural. Se elegirán entonces especies que se suponen mejor adaptadas y resistentes a las condiciones climáticas venideras.

2.3.2 Un método sujeto a debate

El método de migración asistida no está exento de «riesgo» ni es «garantía de éxito». Las posibilidades de fracaso aumentan con la distancia de migración y el método suscita un fuerte debate que se articula alrededor de varios riesgos: riesgo de inacción, riesgo de fracaso de las plantaciones y riesgo de especies nuevamente invasivas (Mueller y Hellmann, 2008).

Así, si la elección de las procedencias parece lo menos arriesgado, el hecho de recurrir a especies no presentes de manera natural en el monte requiere de importantes estudios previos con el fin de caracterizar adecuadamente su adaptabilidad, su capacidad de producción e incluso su potencial invasor. Este riesgo de invasión biológica es particularmente difícil de predecir porque puede

darse a largo plazo. Dado que puede dar lugar a alteraciones importantes en procesos ecológicos como el ciclo de los elementos minerales, el ciclo hidrológica, la dispersión de las semillas, dicho riesgo no debe minimizarse.

Así, la introducción de especies en un nuevo ecosistema no es siempre exitosa y hay muchas plantaciones que fracasan por diversas razones. Dejando de lado potenciales problemas de adaptación a las nuevas condiciones climáticas, muchas otras interacciones modulan la distribución de las especies, tales como la competencia por los recursos, las asociaciones tróficas o también las simbióticas... Por ejemplo, las especies arbóreas presentan numerosas asociaciones con micorrizas para su germinación y su crecimiento, (Schwartz y *al.*, 2006).

En relación con los riesgos evocados anteriormente, se ha preferido en algunos casos apostar por el potencial de adaptación de las especies a través de la selección natural de una parte (Ste-Marie *et al.*, 2011) o por los efectos aún poco conocidos de la epigenética. En efecto, las condiciones medioambientales pueden tener un papel crucial en la expresión de los genes sin por ello cambiar la secuencia de ADN (Kremer *et al.*, 2012, Bräutigam *et al.*, 2013, Alberto *et al.*, 2013, Cortijo *et al.*, 2014). Es posible que los citados efectos epigenéticos vinculados al cambio climático sean beneficiosas para algunas especies ya establecidas.

2.3.3 Ejecución de la migración asistida

Promover o introducir nuevas especies en nuevos territorios requiere un buen conocimiento de:

- La autoecología de las especies y los parámetros que influyen en su distribución (Piedallu *et al.*, 2016),
- Las causas de la mortalidad y de la parte atribuible al cambio climático (Taccoen *et al.*, 2019),
- las proyecciones climáticas futuras. Dada la incertidumbre existente en relación a ellas a largo plazo, parece más razonable basarse en las previsiones a medio plazo : 2030-2060 (Sáenz-Romero y *al.*, 2016).

Por todo ello, se hace necesario disponer de experiencias científicas capaces de proveer información contrastada y con ello limitar fracasos en futuras plantaciones (Sáenz-Romero *et al.*, 2016). ÉS por ello que en el proyecto CANOPEE, se han realizado experiencias que conllevan plantación de nuevas especies o procedencias a través, por ejemplo, de arboretos o de tests de comportamiento.

En relación a los propietarios, y con la idea de minimizar riesgos, se recomienda recurrir a varias especies y a la promoción de plantaciones mixtas para incrementar las posibilidades de sustitución en caso de fracaso de una u otra de las especies plantadas. Dado el riesgo de empeoramiento de las condiciones climáticas, es particularmente importante establecer especies en su estación ecológica adecuada (p.ej. con buen conocimiento de las características pedológicas, que pueden ser restrictivas);

2.3.4 El ejemplo del abeto, especie emblemática de los Pirineos

Varios estudios científicos sugieren una regresión de las áreas de distribución del abeto en respuesta al cambio climático (Badeau et al., 2010, Maiorano et al., 2012) Sin embargo, los factores antrópicos también tienen gran influencia en la distribución de las especies vegetales, en particular de en el caso de especies arbóreas, que han podido ser más o menos favorecidas por la silvicultura a lo largo de la historia. Esta es la razón por la cual Tinner *et al.* (2013) llegan a la conclusión que integrar datos sobre suelos e información selvícola histórica resulta clave para modelizar la distribución de las especies europeas, donde la influencia antrópica en los ecosistemas es significativa desde hace varios milenios. Por ello, se sugiere que la predicción del reparto actual y futuro de las especies no venga exclusivamente dirigido por sus capacidades de dispersión (Pearman *et al.*, 2008).

Al interesarse por el abeto, especie emblemática de los Pirineos, Tinner *et al.* (2013) apuntan al interés que presentan, para la adaptación al cambio climático, la elevada diversidad genética existente en los abetales del continente así como a la existencia de poblaciones que se desarrollan en condiciones climáticas consideradas cálidas para el abeto. Se citan así rodales de la península italiana donde la media de temperaturas de julio es de 22-23°C (Rovelli, 1995, Carraro *et al.*, 1999). Explorar el potencial ecológico de estos ecotipos particulares puede ser de gran interés para la definición de estrategias de adaptación al cambio climático.

2.4 REDUCCIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO

Bases técnicas y ecológicas de los tratamientos de mitigación y adaptación al riesgo de incendio forestal.

2.4.1 Los bosques de montaña y el riesgo de incendio forestal

En las últimas décadas, como consecuencia de la disminución de las actividades en las zonas de montaña, los bosques han ido recolonizando las laderas de muchos valles del macizo Pirenaico y los bosques existentes se han ido densificando (Camarero y Gutiérrez, 2007). Por ejemplo, se estima que, en la vertiente sur de los Pirineos, los pinares han aumentado su superficie de 8900 ha entre 1956 y 2006 (Améztegui *et al.*, 2010). Todo esto ha hecho que los bosques de protección aumenten en superficie y que sean más eficaces, pero a las cotas altas este proceso es muy lento y muy variable, dependiendo de las condiciones climáticas locales (Bebi y Ulrich, 2008). Esta expansión y densificación de los bosques ha provocado un aumento de la continuidad horizontal de la vegetación en las zonas de montañas (Sanz-Elorza et al., 2003). La combinación de todos estos cambios ha generado un aumento importante de la carga de combustible en los bosques del macizo en las últimas décadas, lo que a su vez supone un aumento del riesgo de incendio forestal, que suele estar limitado por la presencia de combustible (Minnich, 1998). Aunque hasta el momento, en los Pirineos los incendios son relativamente pequeños comparando con los que ocurren en el área mediterránea, por ejemplo, el cambio climático podría modificar la tendencia.



Figura 4. Los canales de aludes n°24 y 25 en el bosque domanial de Restauration des Terrains de Montagne (RTM), situado a l 'Hospitalet-Près-l'Andorre, en 1908 a la izquierda y en 1990 a la derecha. Fuente: service RTM de l'Ariège.

De manera general y, aunque no se puede pronosticar detalladamente las nuevas condiciones climáticas bajo el cambio climático, se sabe con casi certeza que supondrá un incremento de las perturbaciones naturales que pueden modificar brutalmente la estructura de los bosques. Las nuevas condiciones meteorológicas resultantes del cambio climático tendrán consecuencias sobre el riesgo de incendio que se verá incrementado a causa del aumento de las temperaturas, de una mayor frecuencia en la escasez de agua y de mayor sequedad del suelo, lo que inducirá un aumento de la inflamabilidad de los combustibles vivos y muertos. El cambio climático hará también que la temporada de incendios se anticipe en el tiempo, y que, en caso de ocurrir, los incendios sean de magnitud desconocida (Moreno, 2005). Las nuevas condiciones climáticas también afectarán la regeneración de los bosques pirenaicos tras los incendios. Esta será más lenta porque se trata de bosques con una resiliencia muy baja en comparación con los bosques mediterráneos o atlánticos (Díaz-Delgado et al., 2002), y además se verá acentuada por una disminución de la fertilidad del suelo (Moreno, 2005).

Las zonas de montaña como los Pirineos serán más vulnerables y estarán más expuestas a un régimen de incendios más adverso que el actual. La inflamabilidad de la vegetación y el periodo de susceptibilidad al fuego aumentarán y, consecuentemente, cabe esperar que los incendios sean más frecuentes, extensos e intensos. Por eso, hoy en día, es cada vez más importante promover una gestión forestal capaz de favorecer y obtener masas forestales resistentes o resilientes (con capacidad de adaptación) al cambio climático. En el caso de los bosques de protección, esto implica la realización de trabajos silvícolas para asegurar la conservación del rol protector que tienen frente a la posible ocurrencia de un incendio.

2.4.2 Tratamientos de reducción de la continuidad y la carga de combustible forestal

Cuando hablamos de los tratamientos de mitigación y adaptación al riesgo de incendio forestal, los bosques de protección responden a las mismas problemáticas que los demás bosques de montaña.

El principal problema de los bosques de montaña es que la propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie al frente de llamas. Por ello, la propagación a favor de pendiente es rápida y peligrosa. De la misma manera que existe una tipología para los bosques protectores, existen los modelos de combustibles forestales. Estos modelos consisten en una tipología de la estructura de los combustibles para explicar el comportamiento del fuego en los incendios forestales. La magnitud de los incendios forestales depende en gran medida de la severidad del fuego, que a su vez está muy influenciada por la cantidad de combustible consumido durante el incendio. Los modelos de combustibles nos proporcionan esta información y entonces nos permiten estimar el comportamiento del fuego en las diferentes formaciones forestales. Más en concreto, se determinan teniendo en cuenta conceptos referentes a la combustión como la carta de combustible, continuidad horizontal, distribución vertical, compactación, tiempo de retardación.. De manera general, un mayor conocimiento de la carga de combustible permite mejores estimaciones de la exposición y vulnerabilidad del bosque al riesgo de incendio, y a su vez da más rentabilidad a las medidas de mitigación (Martell, 2001).

Las actuaciones de mitigación de los incendios forestales consisten en reducir la cantidad de combustible y su continuidad porque inciden notablemente en el comportamiento del incendio (intensidad y velocidad de propagación). El control de la cantidad de combustible se realiza sobre todo mediante el desbroce del sotobosque y de los matorrales. Las tareas de desbroce se pueden realizar mecánica o manualmente. La reducción de la discontinuidad del combustible se lleva a cabo mediante acciones de claras y clareos para reducir la continuidad horizontal y, a través de la poda de las ramas más bajas de los árboles, para reducir la continuidad vertical. En este segundo caso se recomienda eliminar las ramas bajas hasta un tercio de la altura total o hasta el máximo diámetro de copas. Estas acciones se deben de completar con la eliminación de los residuos forestales, preferiblemente mediante la trituración de estos, para evitar la acumulación de combustible forestal susceptible de arder en caso de incendio forestal. Estos trabajos se deben de planificar para evitar que las claras y clareos se lleven a cabo en zonas expuestas a fuertes vientos, ya que existe el riesgo de roturas y derribos de los árboles, lo que puede provocar a posteriori un aumento del combustible muerto después de la actuación. La planificación de las actuaciones silvícolas también es importante para que los trabajos se realicen durante la época adecuada para la vegetación y que no afecten a su estado sanitario. En este sentido, visto que las actuaciones silvícolas pueden fomentar la aparición de plagas y enfermedades, se recomienda no quemar los residuos en el monte y no abandonar ramas con un diámetro superior a 6 centímetros sin triturar.

Desde el punto de vista de la reducción del riesgo de incendio cabe considerar la creación de infraestructuras que puedan servir de interrupción al avance del fuego como son los cortafuegos. También se debe considerar la instalación de puntos de agua o promover una red de pistas forestales para facilitar la vigilancia del bosque, así como para conseguir una eficaz lucha contra los incendios. El resultado esperable de las actuaciones de mitigación asociadas a una mejor valoración del riesgo y a una buena vigilancia de los montes será el poder controlar buena parte de los incendios forestales antes de que adquieran cierta dimensión.

En zonas de montaña como los Pirineos, la opción de luchar contra todo incendio no puede ser técnicamente posible, ni económicamente viable. En este sentido, es necesario determinar dónde y cuándo el incendio no es deseable a ningún coste y dónde y cuándo puede ser tolerable, aunque sólo sea para minimizar el riesgo de un incendio incontrolado (Moreno, 2005). Más allá de las actuaciones de mitigación, las estrategias preventivas de los incendios forestales en zonas de montaña deberían fomentar una gestión integrada de los bosques tomando en cuenta el rol que tienen en la conservación de la biodiversidad y la fijación del carbono.

2.5 DIVERSIFICACIÓN

2.5.1 Aspectos generales

Los tratamientos de diversificación se dirigen a aumentar la **complejidad del bosque**, entendida como **diversidad, a pequeña escala, de composición** (masas mixtas), y de **estructuras** en dimensión vertical (estratos) y horizontal (mosaicos).

Un sistema forestal complejo y biodiverso se considera más resiliente y resistente a las perturbaciones derivadas del cambio climático (Stephens 2010; Puettmann, 2011) dado que promueve la emergencia de respuestas adaptativas capaces de hacer frente a la incertidumbre asociada al cambio climático (Messier i Puettmann, 2011).

Diversificación. Diversificación significa introducir una amplia diversidad en los bosques a todos los niveles:

- **Diversificación genética.** Dentro de una misma especie, busca la diversidad máxima de procedencias locales, productivas y adaptables, ya sean de especies autóctonas o aclimatadas. Fomento de la adaptación genética (adaptación in situ y migración).
- **Diversificación de especies.** Dentro de una comunidad, se favorecen las mezclas de las especies arbóreas dominantes y se mantienen, o incluso se introducen en plantaciones o regeneraciones naturales, las especies del sotobosque. Aumento de la complejidad del rodal en general y de la diversidad estructural vertical (estratos).
- **Diversificación estructural:** Dentro de una comunidad, se aumenta el número de estratos del rodal (estructural vertical) o, a nivel del paisaje, se promueve la aparición de distintas comunidades o mosaicos (estructura horizontal).

Además de sus efectos sobre la biodiversidad y sobre la adaptación de los bosques al cambio climático, la diversificación puede tener también efectos económicos positivos, ofreciendo potencialmente una mayor capacidad para hacer frente a fluctuaciones del mercado y abriendo el acceso a sectores del mercado especializados en maderas de calidad y productos no madereros. Sirve también para realzar el paisaje y la función turística de los bosques.

2.5.1.1 Diversificación genética

El potencial de adaptación de una masa forestal es la capacidad de evolución de sus características genéticas de una generación a la otra, de manera natural y/o ayudada por quien gestiona el

monte. La plasticidad fenotípica ofrece respuesta a corto plazo y amortigua los impactos negativos del cambio, mientras que la diversidad genética incrementa la capacidad de adaptación a largo plazo y facilita la migración (Benito *et al.*, 2011).

Los árboles forestales, en general, se caracterizan por una gran diversidad genética en el seno de cada población: esta diversidad es el carburante indispensable para que pueda funcionar la selección natural, mecanismo que conduce a la adaptación. El nivel de diversidad intra-poblacional es variable de una especie a otra, siendo peor en aquellas especies con alta fragmentación de su área, y pudiendo variar para una misma especie desde el centro a los límites de su área de distribución (Messier y Puttman, 2011).

La diversidad genética, aunque difícil de observar en el seno de las especies, está siempre en constante evolución y está condicionada por la dinámica de las poblaciones, los flujos de semilla y polen entre las poblaciones y por la selección, ya sea de origen natural o antrópica (ver Lefèvre *et al.* 2014). En todos estos aspectos la gestión forestal a pequeña escala, juega un rol fundamental.

2.5.1.2 Diversificación de especies

La presencia de diferentes especies en un rodal, aun de manera esporádica, garantiza la existencia de una biodiversidad específica asociada a ellas y un proveimiento mayor de múltiples servicios ecosistémicos forestales (Gamfeldt *et al.*, 2013). Además, la presencia de un mayor número de especies arbóreas reduce la prevalencia de plagas, en comparación con bosques monoespecíficos, al ofrecer una mayor variabilidad de recursos alimentarios y de dendro-microhabitats para los depredadores naturales, a la vez que una menor eficiencia de las plagas de insectos herbívoros para encontrar su especie de árbol huésped (ver Bellamy *et al.*, 2018)

Las diferentes estrategias funcionales entre las diferentes especies (y, sobretodo, entre los diferentes géneros) permiten, además, una mayor eficiencia en el uso de los recursos y mayores oportunidades de recuperación en caso de perturbaciones. Así, más allá del número absoluto de especies, lo que es relevante con relación a la resiliencia del bosque es la diversidad de rasgos funcionales ligados a los diferentes grupos de especies arbóreas o arbustivas (Messier *et al.*, 2019). Éstos afectan la capacidad de respuesta a las presiones externas (p.e. sequía o competencia respecto a especies invasoras), o a los procesos o servicios que proveen (p.e. polinización o control de la erosión).

La gestión forestal, al intervenir en la diversidad de composición vegetal y estructural del monte, impacta también en la diversidad faunística asociada, de manera que se multiplica el número global de especies presentes en el monte (Larrieu y Gonin, 2012). El papel de la madera muerta es, en este aspecto, destacable.

2.5.1.3 Diversificación estructural (horizontal)

Un paisaje en mosaico puede limitar la propagación de perturbaciones como incendios, tormentas de viento o enfermedades y plagas, lo que es deseable en un escenario de aumento de frecuencia e intensidad de estas (Messier *et al.*, 2019).

Aunque la fragmentación forestal se ha asociado a menudo con una comunidad faunística empobrecida, en áreas donde los fuegos forestales y otras perturbaciones han fomentado tradicionalmente un paisaje heterogéneo, los fragmentos de diferentes hábitats en el paisaje, aun cuando estos sean de tamaño reducido, parecen críticos para asegurar la presencia de diversas especies en el paisaje (Brotons, 2007). Así, por ejemplo, la heterogeneidad del paisaje aparece como un elemento clave en la determinación de los patrones de distribución de determinadas aves.

2.5.2 Tratamientos de diversificación

Aunque se ha hecho un esfuerzo por clasificar e individualizar los tratamientos, debe tenerse en cuenta que muchos de ellos tienen efecto a la vez sobre la **diversidad de composición** y la **diversidad estructural**, y que, además, suelen (y se aconseja) aplicarse combinados entre ellos.

Los tratamientos aquí resumidos se centran en la gestión a **escala de monte o rodal**. No obstante, debe tenerse en cuenta también su relación con la **escala de paisaje**, especialmente a la hora de priorizar actuaciones, por ejemplo, en los rodales menos diversos funcionalmente o favorecer aquellas especies que aporten nuevos rasgos funcionales inexistentes en el global del paisaje.

2.5.2.1 Promoción de la diversidad (de composición y de estructura vertical) en bosques ya mixtos.

Promoción activa de la diversidad de especies arbóreas y arbustivas y de elementos singulares, a pequeña escala.

- **Promoción de especies esporádicas.** Este tratamiento se enmarca en la técnica de “selvicultura de árbol individual”, que se ha desarrollado fundamentalmente durante los últimos 20 años en bosques y especies de tipo eurosiberiano. Consiste en centrar los esfuerzos de gestión únicamente en los pies de mayor valor futuro, dejando el resto de pies del bosque con una gestión mínima o aprovechamiento directo. Se trata de promover una fácil identificación de los mejores pies en etapas juveniles (cualificación) y posteriormente eliminar la competencia a estos pies de manera que se desarrollen con rapidez y vitalidad (desarrollo). Desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático, la selvicultura de árbol individual permite mantener la diversidad de especies presentes al ofrecerles bajos niveles de competencia, pero también mejora la heterogeneidad estructural. En Italia se ha ensayado su aplicabilidad en bosques de planocaducifolios con objetivo de valorización económica y aumento de la biodiversidad y estabilidad ecológica (LIFE PProSPotT: <http://www.pprospot.it/>). El proyecto LIFe MIXforchange (<http://www.mixforchange.eu>) ha sido pionero en aplicar esta misma técnica a bosques mediterráneos subhúmedos en Catalunya.
- **Gestión de bosques mixtos biestratificados como “monte medio irregular” (MMI) o coppice with standards.** Comprende la gestión en dos estratos: uno inferior de rebrote para producción de leñas y uno superior, irregular, de pies de semilla de especies de valor para producción de madera. Las cortas son espaciadas en el tiempo (20 -30 años) e intensas,

cortando todo el estrato bajo de rebrote (leñas) y reservando los mejores pies de semilla, de la misma o de otras especies que formarán el estrato superior y que se mantendrán durante varias rotaciones, juntamente con algunos pies acompañantes o “estrato de servicio” (Serrada, 2011). De esta forma, además de mejorar la vitalidad de la masa, se consigue su diversificación específica y estructural, y se favorece continuamente la regeneración sexual (de semilla). Algunos estudios recientes, han puesto de manifiesto numerosas ventajas del MMI en el ámbito de la adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad (Sjölund & Jump, 2013; Kollert, 2014).

- **Retención de elementos clave (“Retention forestry”).** La silvicultura de retención “se basa en la idea de mantener intencionadamente, en el momento de la corta, estructuras e individuos importantes que se quedarán en el rodal a largo plazo (Gustafsson et al., 2012). Se trata de legados como árboles viejos grandes, vivos y muertos, que requieren un tiempo de desarrollo más allá del turno de corta. El objetivo principal es proveer continuidad en la estructura, función y composición del ecosistema a través de diversas generaciones del bosque. Con este tipo de silvicultura se consigue mantener y aumentar la diversidad de especies global del rodal, favoreciendo aquellas especies asociadas a estos hábitats como las plantas epífitas, los organismos saproxílicos, los insectos y hongos de la madera y muchos otros organismos con un papel relevante en la capacidad de resiliencia del bosque. Los desbroces selectivos de matorral, en contraposición a los desbroces ha hecho, pueden incluirse dentro de esta lógica. En general, cuanto más diverso sea el estrato de matorral mejor, aunque, si es posible afinar, puede tenerse en cuenta criterios sobre el comportamiento de las diferentes especies arbustivas con relación al agua (si retienen o almacenan agua), al fuego (pirófitas o no) y a su biodiversidad asociada (productoras de fruto o no) así como a sus estrategias de reproducción (rebotadoras versus germinadoras) que condicionarán su control.



Foto 1: Actuación de diversificación mediante promoción de especies esporádicas en un robledal. Actuación realizada en el marco del proyecto **LIFE MIXforCHANGE**, en el que se ha diseñado un modelo de gestión de adaptación específico para bosques mixtos mediterráneos subhúmedos, en base a la combinación de las técnicas de “monte medio irregular” (coppice with standards) y la “silvicultura de árbol individual” (tree-oriented silviculture), con la aplicación de oberturas de huecos a la regeneración y plantaciones de enriquecimiento. Proyecto cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea.

2.5.2.2 Incorporación de nuevas especies en masas poco diversas

- **Regeneración natural : Obertura de huecos de diferentes tamaños**, adecuados a la ecología de las especies y aprovechando el regenerado a la espera. Esta práctica genera también diversidad de estructuras horizontal (pequeños mosaicos). El factor principal con que se juega es el grado de insolación. La amplitud de los bosquetes o fajas de regeneración se regula en función de la ecología (tolerancia) de la especie a incorporar y las condiciones de insolación esperadas (Martín-Alcón et al. 2015). En Catalunya, se ha observado que, en condiciones de mediterraneidad y proyección de periodos largos de sequía estival, puede ser conveniente, incluso para la promoción de especies heliófilas, reducir las dimensiones del hueco creado para mantener las condiciones de humedad, así como aprovechar las microestaciones más favorables (Baiges et al., 2019). Para favorecer la introducción de especies tolerantes a la sombra, algunos autores recomiendan la realización de fajas estrechas que permitan la entrada de luz lateral bajo arbolado, más que buscar la insolación directa del hueco. Para algunas de estas especies puede ser necesario la siembra o plantación previa a la generación del hueco.

Pero más allá del grado de insolación, hay otros factores que condicionan el éxito de la instalación de la regeneración natural, más aún en las nuevas condiciones climáticas. En Catalunya, Baiges *et al.* (2019) apuntan a nuevos factores a tener en cuenta como la reducción de la viabilidad de las semillas, el posible papel facilitador del matorral o la presencia de patógenos que inhiban la producción de semilla o dificulten la viabilidad del regenerado. Las cada vez más comunes experiencias de conversión de monocultivos forestales a masas mixtas en el centro y norte de Europa son una muestra clara de la complejidad del proceso de introducción de nuevas especies arbóreas. Por ejemplo, De Schrijver *et al.* (2009) mostraron que, en plantaciones de pino silvestre en suelo arenoso, el impacto del método de corta en el ciclo de Calcio y Magnesio era el factor que más condicionaba el éxito de la entrada de regenerado de abedul.

- **Plantaciones (o siembras) de enriquecimiento**, en zonas muy simplificadas en composición específica.

Foto 2: Corta experimental por bosquetes de distintas dimensiones en el Pirineo catalán donde se buscaba la regeneración de la especie principal (*Pinus sylvestris*), la introducción de nuevas especies (géneros *Quercus* y *Fagus*) y el ensayo de nuevas procedencias de *P. sylvestris* y *P. nigra*. El seguimiento y divulgación de los primeros resultados se ha llevado a cabo en el marco del proyecto POCTEFA CANOPEE.



Las plantaciones de enriquecimiento buscan introducir o incrementar la proporción de una o más especies en una masa forestal preexistente (Coello *et al.*, 2019). Se aplican generalmente, en rodales pobres en especies, con densidad defectiva (por perturbaciones o gestión) y escasa regeneración natural, aprovechando el potencial productivo de las micro-estaciones más favorables (fondos de valle, antiguas terrazas...). También se usan para diversificar plantaciones adultas con baja diversidad funcional, introduciendo especies tolerantes a la sombra. Respecto a las plantaciones en campo abierto, presentan la desventaja de la dificultad de mecanización, pero, por contra, se benefician de microclimas más favorables por el efecto tampón del arbolado existente, si las especies plantadas son tolerantes a la sombra. Según Coello *et al.* (2019), para especies intolerantes, las áreas basimétricas iniciales, deberían ser inferiores a 20 m²/ha.

La elección de especies depende del objetivo de plantación. Generalmente son mixtas, aunque haya una especie principal y otras que toman el rol de auxiliares. En general, se planta a densidades bajas a escala de rodal (aprox. 200 pies/ha) pero la plantación se organiza en grupos más densos (aprox. 1000 pies/ha), para mejorar su conformación (sin necesidad de podas anuales) y controlar el desarrollo de vegetación competidora. Incluso cuando el objetivo de la plantación contempla la producción de madera de calidad, la premisa clave en su gestión es que la intensidad, y, por tanto, el coste de mantenimiento sea mínimo (Coello *et al.*, 2017). La gestión se reduce a las actuaciones imprescindibles para garantizar la supervivencia. El enfoque selvícola que se aplica es el de la selvicultura de árbol individual descrita anteriormente, con una fase de cualificación, donde la plantación crece en alta densidad, y una fase de dimensionamiento, que se iniciaría con la identificación de los pies de futuro, a los 15-20 años, y durante la cual se plantearían las claras selectivas.

Foto 3 : Plantación de enriquecimiento realizada en el marco del proyecto LIFE CLIMARK, que contempla este tipo de plantaciones como medida de mitigación-adaptación recomendable en 3 situaciones de partida: i) Rodales afectados por incendios con regenerado poco denso y/o poco diversificado; ii) Masas adultas con presencia de claros y micro-estaciones favorables; y iii) Franjas de baja densidad de arbolado alrededor de campos de cultivo ecológico. Proyecto cofinanciado por el programa LIFE-Clima de la Unión Europea.



2.5.2.3 Prácticas que favorecen la diversidad y adaptación genética del arbolado

En gestión forestal, el turno de corta del arbolado suele ser elevado, lo que significa que los cambios en las condiciones ambientales que sufrirá la masa entre el estado juvenil y el momento de corta serán importantes. En el periodo de regeneración, ya sea por regeneración natural o plantación, hay que asegurar que se da una diversidad genética suficiente como para permitir la posibilidad de una selección natural posterior.

- **Adaptar la densidad y los criterios de selección de árboles en las cortas de regeneración.**

Se trata de preparar la fase de regeneración de manera que se asegure su cantidad y su diversidad genética: Aumentar el número de árboles semilleros en las cortas diseminatorias y mantener una alta diversidad fenotípica. La diversidad fenotípica, muy alta en algunos géneros como *Quercus*, engloba diferencias morfológicas (por ejemplo, porte), fenológicas (por ejemplo, fechas de brotación) y fisiológicas (por ejemplo, estrategias reproductivas o resistencia a sequía). Esta diversidad fenotípica es un indicador combinado de la diversidad genética y de la plasticidad fenotípica de una población, lo que facilita la adaptación in situ, tanto a corto como a largo plazo (Benito et al., 2011).

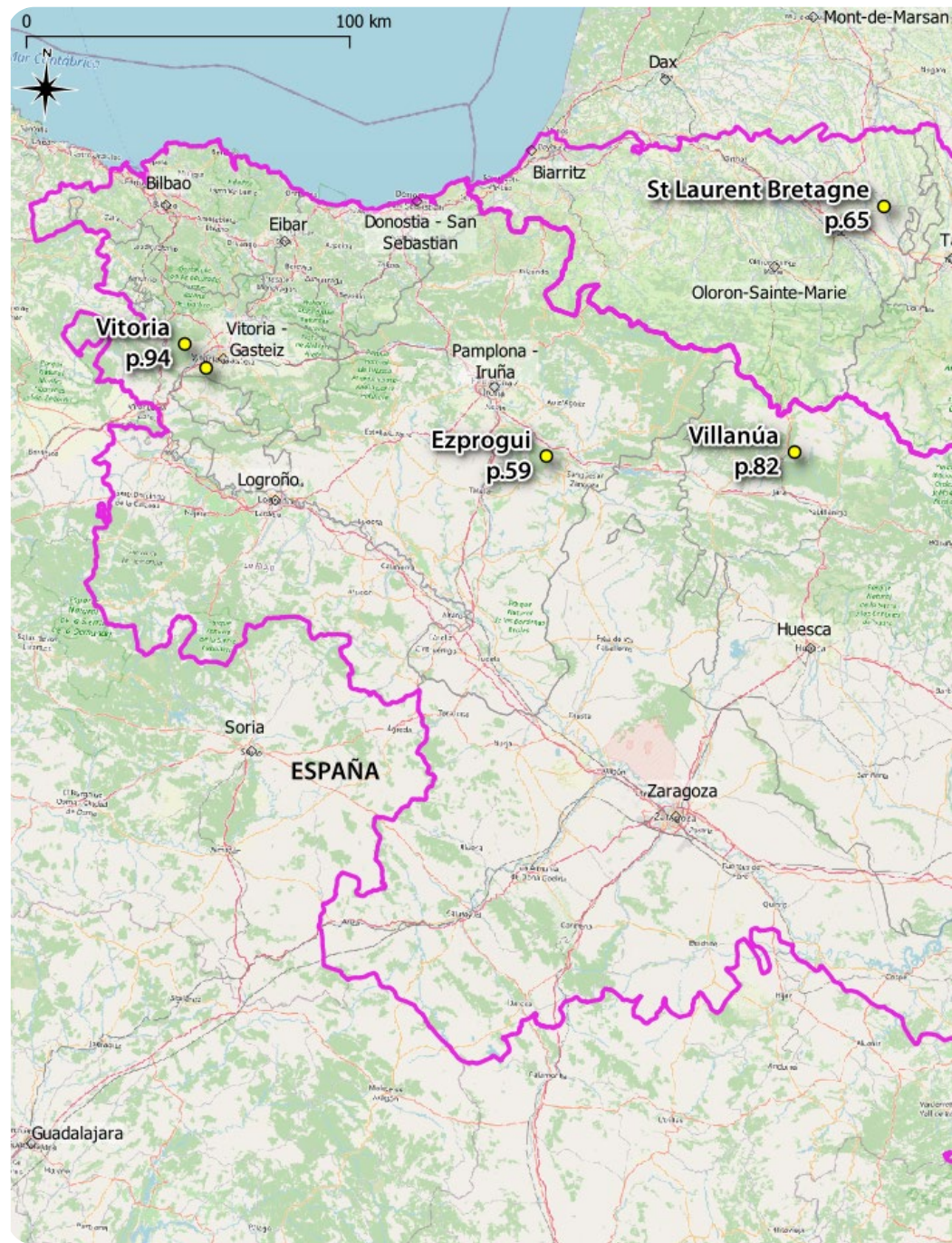
- **La migración asistida.** Uso de material forestal de otras procedencias más acordes con la nueva situación climática actual o proyectada (ver apartado 2.3 de esta misma guía). Por ejemplo, en el Pirineo, puede contemplarse el uso de ecotipos de ambientes más xéricos (Martín-Alcón et al., 2016) o, en plantaciones de rotación corta (chopos, cortas a hecho para leña,...) el uso de material de reproducción más adaptado a las nuevas condiciones, evitando, la uniformidad a escala de paisaje o regional (Messier, 2011).

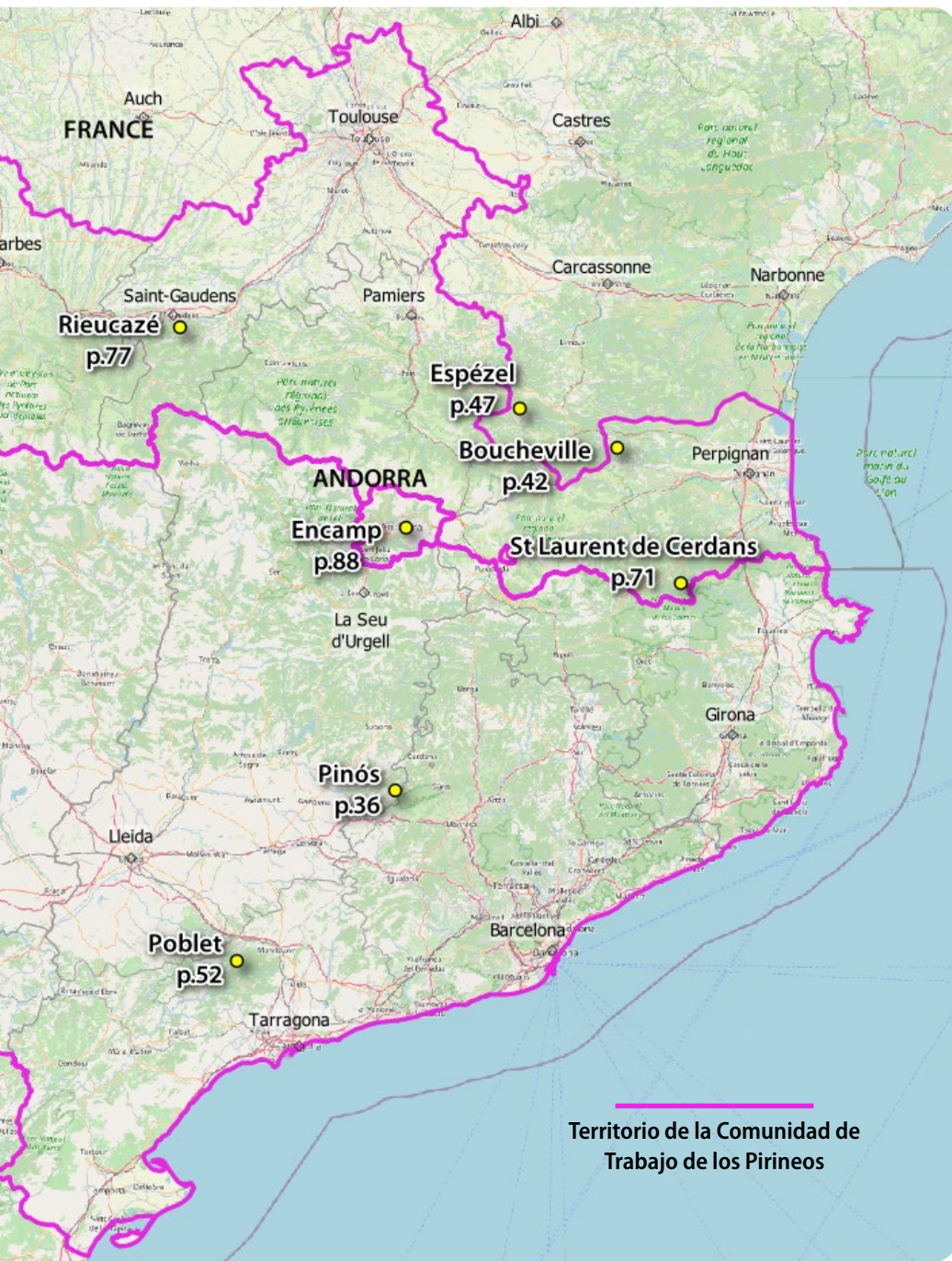


Foto 4. Plantación de enriquecimiento con especies rebrotadoras en pinares monoespecíficos de pino silvestre del Prepirineo catalán realizada en el marco del proyecto MED ForClimAdapt. En las plantaciones se utilizaron distintas especies de quercíneas y varias procedencias del material vegetal.

3 PARCELAS DEMOSTRATIVAS Y RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS

3.1 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS





Territorio de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos

3.2 PINÓS (LLEIDA)

3.2.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites del rodal de actuación



Imagen del tipo de masa



Socio: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya

Emplazamiento de la actuación: Cataluña, Lleida, Pinós (Solsona)

Formación forestal: Monte bajo de roble pubescente con presencia puntual de regenerado de pino laricio (formación procedente de incendio forestal)

Superficie del rodal seleccionado: 2 ha

Propietario/Gestor: Ferrán Miquel

Fecha de inicio de la intervención: 2018

CTFC 

Objetivos generales:

1. Regular la competencia entre los rebrotes de roble por el recurso hídrico y con ello aumentar la vitalidad de la masa
2. Promover la diversificación del rodal

Objetivos operativos:

Se ejecuta un tratamiento de resalveo selectivo mixto consistente en:

1. Reducción de la densidad de los rebrotes de roble
2. Eliminación de la competencia alrededor de cada individuo de pino (radio 1 a 2 m)
3. Desbroce del matorral
4. Desembosque manual y troceado de los rebrotes de roble extraídos para uso energético (leña)

Estado del rodal antes del tratamiento**Estado del rodal después del tratamiento****Resultados esperados con la intervención**

- Incremento del crecimiento diametral de los rebrotes de roble, mejora de su estado hídrico y de su vitalidad
- Incremento del crecimiento diametral del regenerado de pino, mejora de su estado hídrico y de su vitalidad
- Diversificación composicional de la masa arbórea y del sotobosque
- Disminución de la evapotranspiración del rodal y mejora del balance hídrico con el aumento de la infiltración y de la cantidad de agua azul

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: El rodal se localiza en una ladera de pendiente moderada (10-20%), orientada al noroeste (NW). La altitud oscila entre los 630-650 m.

Clima: El rodal se localiza en una zona de clima subhúmedo seco (según el índice de Thornthwaite), caracterizado por una precipitación y temperatura media de 650 mm y 12°C, respectivamente. La precipitación se concentra, en general, durante los meses de otoño y primavera. Durante el verano, se dan a menudo tormentas convectivas que proveen cantidades de precipitación significativas (una media de en torno a 150 mm).

Suelo: El suelo está formado por pliegues de roca carbonatada (principalmente lutitas, margas y calizas) y sedimentos de yeso. Suelo de profundidad moderada.

Vegetación: El rodal se localiza en una finca privada de la provincia de Lleida (Cataluña), situada en el sur de la comarca del Solsonès (municipio de Pinós). La finca forma parte de una extensa área que se vio afectada en el año 1998 por un gran incendio forestal que quemó más de 24,000 ha de monte arbolado.

Antes del incendio el rodal estaba compuesto por una masa adulta de pino laricio (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*), de estructura regular. El sotobosque lo conformaban distintas especies de matorral del ámbito mediterráneo (*Quercus coccifera*, *Crataegus monogyna*, *Viburnum lantana*, *Rubus ulmifolius* y *Buxus sempervirens*) junto con varios pies de roble pubescente (*Quercus pubescens*).

Tras el incendio la masa de pino laricio fue sustituida rápidamente por un intenso rebrote de roble (principalmente de raíz). No obstante, y tras algunos años, se observa cierta presencia de regenerado de pino en el interior del rebrote de roble que procedente de islotes no quemados situados en la parte superior de la ladera.

3.2.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.2.2.1 Descripción de las mediciones realizadas (común para todos los rodales intervenidos)

Para la evaluación cuantitativa de las características del tratamiento se realizó un inventario que permite comparar el estado pre- y post- intervención, tanto en el subrodal intervenido como en un subrodal control sin intervención. En cada uno de ellos se levantó una parcela de 25 x 25 m (parcela (A) en la Figura 5) en la que se midió, antes y después del tratamiento: el área basimétrica, la especie y diámetro de todos los árboles con $dbh > 5$ cm, la cobertura (%) y altura media de cada especie arbustiva, y la cobertura (%) por grupo biológico de especies herbáceas (gramíneas y no-gramíneas). Dentro de cada parcela, se levantó una subparcela de 5 metros de radio (parcela (a) en la Figura 5) en la cual se contabilizaron los pies con $dbh < 5$ cm de cada especie diferenciando aquellos de altura > 130 cm y aquellos de altura < 130 cm.

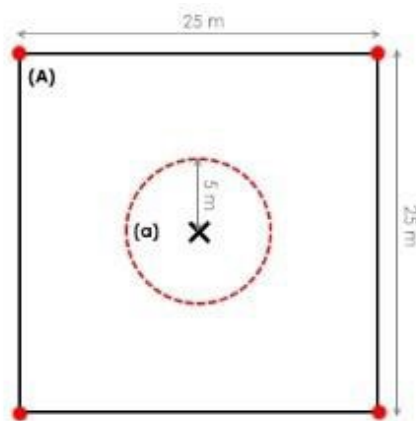


Figura 5 Tipología de parcela de inventario, con una parcela (A) cuadrada de 25 x 25 metros, en la que se miden todos los árboles de $dbh > 5$ cm; y una subparcela (a) circular de radio 5 metros en la que se inventarían los árboles de $dbh < 5$ cm.

3.2.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

Se trata de un monte bajo claramente dominado por *Quercus pubescens* en estado de latizal bajo, con un diámetro medio cuadrático de 7,38 cm y una densidad media de 1.056 pies/ha (Tabla 1). La presencia de otras especies en el estrato superior es escasa, apareciendo únicamente algunos individuos de *Pinus nigra* con un diámetro medio de 5,6 cm.

En el estrato de juveniles (dbh < 5 cm) existe igualmente una clara dominancia de *Quercus pubescens*, con una elevada densidad (más de 3.500 pies/ha) de brotes con altura inferior a 1,3 metros, y una densidad menor de brotes con altura superior a 1,3 metros. En este estrato, sin embargo, aparecen con mayor frecuencia otras especies, fundamentalmente *Pinus nigra*, pero también juveniles de *Sorbus torminalis*, *Crataegus monogyna*, *Viburnum lantana*, *Cornus sanguinea*, *Quercus coccifera*, etc.

Finalmente, los estratos arbustivo y herbáceo se caracterizan por una dominancia del recubrimiento herbáceo (60%). Dentro del grupo de las arbustivas, dominan *Rubus ulmifolius* (32,5%), *Genista scorpius* (10%) y *Dorycnium pentaphyllum* (10%), siendo más raras especies como *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Quercus coccifera*, *Viburnum lantana* y *Cornus sanguinea*.

Tabla 1 Características dasométricas básicas del rodal de actuación antes de la intervención

Variable	<i>Q. pubescens</i>	<i>P. nigra</i>	Otras frondosas
Densidad adultos ¹ (pies/ha)	1.056,00	16,00	0,00
Área basimétrica (m ² /ha)	4,52	0,04	0,00
Diámetro cuadrático medio (cm)	7,38	5,60	0,00
Densidad juveniles ² h>1,3 m (pies/ha)	684,70	47,80	15,90
Densidad juveniles ² h<1,3 m (pies/ha)	3.551,00	159,20	175,20

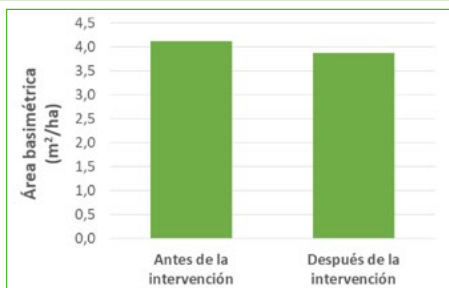
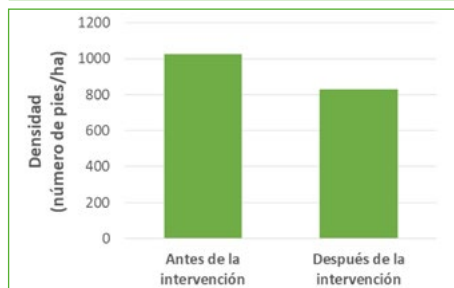
3.2.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

Description de l'effet de l'intervention à partir des données relevées avant et après celle-ci sur la parcelle.

1 Individuos adultos: dbh > 5 cm

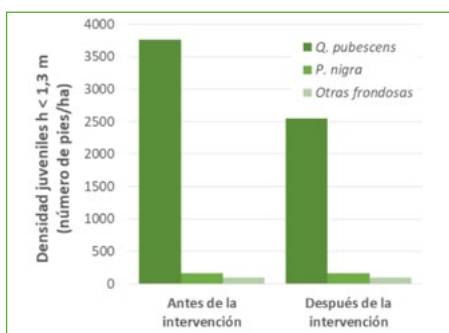
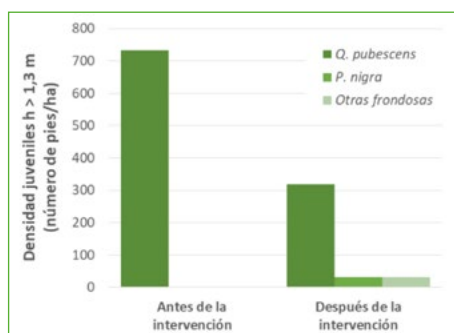
2 Individuos juveniles: dbh < 5 cm

Efectos sobre el estrato arbóreo ($d_{1,30} > 5$ cm). *Quercus pubescens*.



La intervención tuvo un efecto ligero sobre el estrato arbóreo, compuesto exclusivamente de *Quercus pubescens* en la parcela de seguimiento de la actuación. La densidad de esta especie pasó de 1.024 a 832 pies/ha, reduciéndose en un 18,8%. El efecto sobre el área basimétrica fue menos notorio, pasando de 4,11 a 3,87 m²/ha, y por tanto reduciéndose tan solo en un 5,9%. No obstante, debe tenerse en cuenta que entre una y otra medición transcurrió un periodo vegetativo completo. El incremento en área basimétrica producido durante ese periodo podría estar enmascarando el efecto de la intervención. El diámetro cuadrático medio pasó de 7,38 a 7,69 cm como resultado de la intervención.

Efectos sobre el estrato juvenil ($d_{1,30} < 5$ cm)

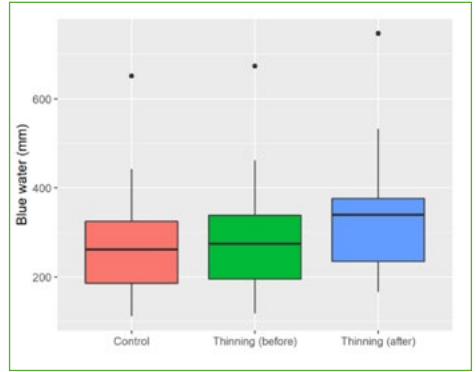
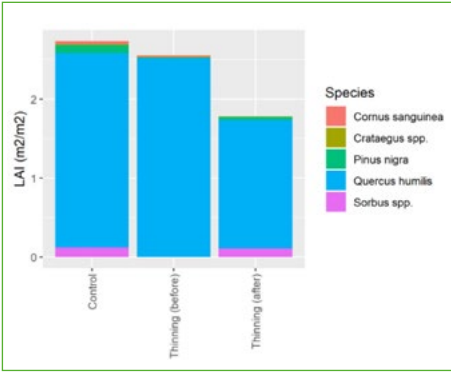


La intervención tuvo un efecto notable sobre el estrato de juveniles, concretamente reduciendo significativamente la densidad de brotes dominados y sumergidos de *Quercus pubescens*. La densidad de juveniles de altura superior a 1,3 metros bajó de 732 a 318 pies/ha, reduciéndose en un 56,5%, y la densidad de juveniles de altura inferior a 1,3 metros se redujo de 3.758 a 2.548 pies/ha (un 32,2%). El efecto de la intervención sobre el resto de las especies fue nulo, cumpliendo uno de los principales objetivos de la actuación, que era fomentar la mezcla de especies en el rodal.

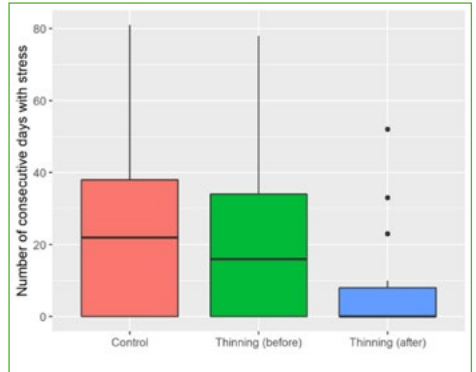
3.2.2.4 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

Se ha realizado un estudio de simulación del balance hídrico mediante el modelo *medfate* (De Cáceres *et al.*, 2015). Para ello, se tomaron como datos de entrada para el modelo las características del suelo de la parcela, la estructura de esta antes y después de la intervención, así como la meteorología correspondiente al periodo 1981-2015. Los resultados se presentan incluyendo los de una parcela control de la misma zona de actuación.

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Quercus pubescens*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 2,5 a 1,78 m²/m², principalmente debida a la reducción del número de pies en el estrato de juveniles. La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 293 a 344 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 22 a 6 días/año, en promedio, para *Quercus pubescens*.



3.2.2.5 Evaluación final de la intervención

La intervención realizada en el rodal tenía por principales objetivos: (i) la regulación de la competencia entre los rebrotes de roble por el recurso hídrico, aumentando de esa manera la vitalidad de la masa, y (ii) el fomento de la diversificación del rodal.

La ejecución del tratamiento de resalveo selectivo mixto consiguió, por una parte, reducir sensiblemente la densidad y por tanto la competencia en el estrato superior. Por otra parte, se redujo de manera más notable la densidad de brotes de roble dominados y sumergidos (inventariados como juveniles), consiguiendo de esta manera una mejora general del vigor del rodal.

La diversificación del rodal también se fomentó mediante el tratamiento. No solo se respetaron todos los individuos tanto de *Pinus nigra* como de otras especies accesorias, si no que se mejoraron las condiciones para su desarrollo a través de la eliminación de la competencia alrededor de cada individuo, incluyendo el desbroce del matorral.

3.3 BOUCHEVILLE (PYRÉNÉES-ORIENTALES)

3.3.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites del rodal de actuación

Imagen del tipo de masa



Socio: Office National des Forêts



Emplazamiento de la actuación: Occitanie, Pyrénées-orientales, municipio de Vira, bosque domanial de Boucheville, parcela 39

Formación forestal: Hayedo de monte adulto

Superficie del rodal seleccionado: 2,31 ha

Propietario/Gestor: Estado, ministerio de Agricultura

Fecha de inicio de la intervención: 2018

Objetivos generales:

1. Reducir la competencia hídrica entre los árboles
2. Aumentar la vitalidad de las copas
3. Favorecer la mezcla de las especies

Objetivos operativos:

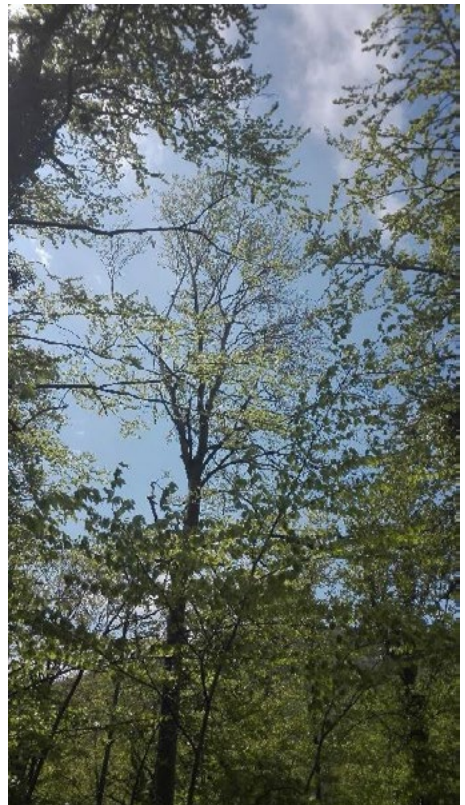
Se ejecuta un tratamiento de resalveo selectivo mixto consistente en:

1. Reducción del 30% del área basimétrica en la parcela de ensayo
2. Reducir la competencia entre los árboles

Estado del rodal antes del tratamiento



Estado del rodal después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

- Aumentar el crecimiento secundario (en diámetro) de los árboles
- Mejorar la vitalidad y la disponibilidad hídrica disminuyendo la competencia por el agua
- Disminución de la pérdida de agua por evapotranspiración del rodal
- Aumentar la vitalidad individual de las copas
- Diversificar el rodal favoreciendo la coexistencia de distintas especies

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: El rodal está orientado al sur, con una pendiente media (36%). La altitud varía entre 850 y 900 m.

Clima: El clima es de tipo montañoso con influencia mediterránea. La precipitación media es de 890 mm/año, con sólo 125 mm para los meses de verano (junio, julio, y agosto). Esto constituye una limitación para el haya, aunque parcialmente compensada por el aporte de humedad con las brumas. De media hay 95 días lluviosos al año. La variabilidad interanual de la precipitación puede ser importante. La media de las temperaturas máximas del mes más cálido (julio) es de 25°C mientras que la media de las temperaturas mínimas del mes más frío (enero) es de 0,9°C. Hay 52 días con heladas al año de media. El viento, como la tramontana, puede agravar aún más los episodios de sequía. Fuente: MétéoFrance, Aurhely, 1981-2010.

Suelo: El suelo, originado a partir de un substrato calcáreo, es descarbonatado y muy pedregoso, con una textura limosa.

Vegetación: Hayedo de montaña de aproximadamente 80 años, con estructura regular, con un subpiso compuesto sobre todo de acebos (*Ilex aquifolium*) y adelfilla (*Daphne laureola*).

3.3.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.3.2.1 Estado inicial del rodal de actuación

El estado inicial del rodal se ha descrito a partir de la base de datos recogidos antes de la intervención en la parcela de ensayo silvícola. Se trata de un bosque de montaña donde domina el haya (*Fagus sylvatica*) en un 98,8% (ver cuadro 1 para las características dasométricas de los árboles con un $D > 17,5$ cm). La presencia de otras especies en el estrato superior es poco frecuente: el roble albar (*Quercus petraea*) representa un 1,2%. Los pies con un diámetro comprendido entre 7,5 y 17,5 cm son todos de haya y representan 2,2 m²/ha con una densidad de 176 pies/ha.

El estrato juvenil (diámetro < 7,5 cm) está poco representado con algunos tallos de arce sicomoro.

El estrato arbustivo se caracteriza por una cubierta importante de acebos (*Ilex aquifolium*) y algunos pies de adelfilla (*Daphne laureola*). El estrato herbáceo es poco importante, recubriendo un 3% (*Festuca heterophylla*).

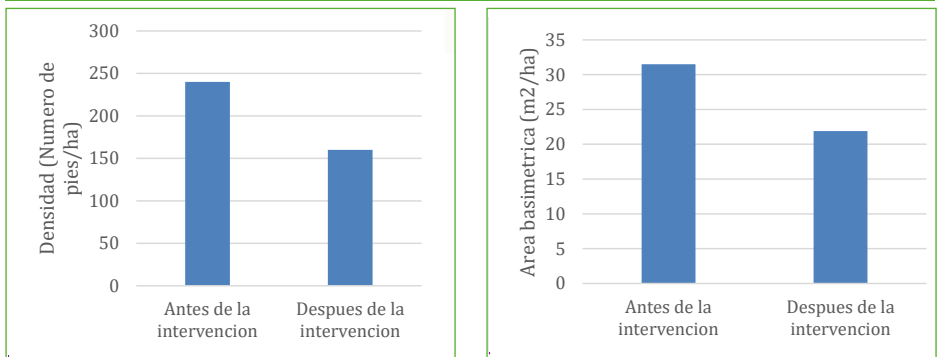
Tabla 2 Características dasométricas básicas del rodal de actuación antes de la intervención (Diámetro >17.5cm)

Variable	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus petraea</i>
Densidad adultos (pies/ha)	224	16
Área basimétrica (m ² /ha)	31,1	0,4
Diámetro cuadrático medio (cm)	42,0	17,9

3.3.2.2 Caracterización cuantitativa de la intervención

El efecto de la intervención se ha descrito a partir de la información recogida antes y después de la tala, en la parcela de ensayo de la acción silvícola y en árboles cuyo diámetro es superior a 17,5cm.

Efectos sobre el estrato arbóreo (dbh > 17,5 cm).



La intensidad de la tala es elevada. Considerando los árboles de diámetro > 17,5cm, la densidad se ha reducido en un 33% y el área basimétrica en un 30%. El diámetro medio de los pies cortados es de 39 cm y el volumen extraído de 105 m³/ha. Como estaba previsto, se realizó una clara alta, con un ratio entre el volumen del pie extraído (Ve) respecto al volumen medio de los pies antes de la intervención (V) de 0,9.

Efectos sobre el estrato juvenil (dbh < 17,5 cm)

No se ha cortado ningún pie de diámetro inferior a 17,5 cm, con el fin de concentrar el esfuerzo de corta sobre el estrato dominante y mejorar así la vitalidad de las copas.

3.3.2.3 Evaluación final de la intervención

La intervención del rodal tiene tres objetivos marcados:

- Reducir la competencia por el agua, reduciendo la densidad del rodal
- Aumentar la vitalidad de las copas cortando árboles del piso dominante
- Facilitar la diversidad de especies

La acción silvícola ha permitido reducir la densidad en un 33% y el área basimétrica en un 30%, lo que corresponde a una extracción importante. Por otra parte, el pie de roble albar presente en la parcela de ensayo se ha mantenido para facilitar la llegada de una mezcla con la apertura del rodal a la luz.

3.4 ESPEZEL (AUDE)

3.4.1 Ficha descriptiva del rodal

Límites del rodal de actuación

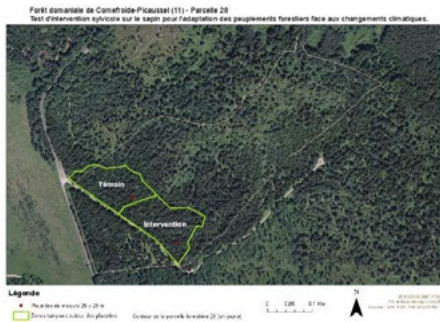
Action Agir - Office National des Forêts : localisation de la placette en forêt domaniale de Comefroide - Picaussel (parcelle 28)



Action Agir - Office National des Forêts : localisation de la placette en forêt domaniale de Comefroide - Picaussel (parcelle 28)



Imagen de tipo de masa



Socio: Office National des Forêts



Emplazamiento de la actuación: Occitanie,



Aude, municipio d'Espezel, bosque domanial de Comefroide-Picaussel, parcela 28

Formación forestal: Abetal de montaña adulto

Superficie del rodal seleccionado: 2,61 ha

Propietario/Gestor: Estado, ministerio de Agricultura

Fecha de inicio de la intervención: 2018

Objetivos generales:

1. Reducir la competencia hídrica entre los árboles
2. Aumentar la vitalidad de las copas
3. Provocar la mezcla de las especies

Objetivos operativos:

Se ejecuta un tratamiento de resalveo selectivo mixto consistente en:

1. Reducir del 30% del área basimétrica de la parcela de ensayo
2. Reducir la competencia entre los árboles

Estado del rodal antes del tratamiento



Estado del rodal después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

- Aumento del crecimiento en diámetro de los árboles
- Mejora de la vitalidad y de la disponibilidad hídrica disminuyendo la competencia por recursos hídricos,
- Disminución de la evapotranspiración total del rodal
- Aumento de la vitalidad individual de la copa
- Diversificación del rodal, facilitando la coexistencia de diversas especies forestales

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: El rodal está en una ladera, orientada al sur ya pendiente suave (10%),. La altitud varía entre 870 y 900m.

Clima: El clima es de montaña con influencia oceánica. La precipitación media es de 1138 mm/año, con 204 mm repartidos entre los meses de verano (junio, julio, agosto). De media hay 119 días de lluvia al año. Las precipitaciones son relativamente estables a escala anual, pero pueden tener una variabilidad mensual importante. La media de las temperaturas máximas del mes más cálido (julio) es de 24°C, mientras que la media de las temperaturas mínimas del mes más frío (enero) es de -0,2°C. Hay 71 días de heladas al año de media. El principal riesgo climático reside en la situación a baja altitud del abetal, en el extremo inferior de su distribución altitudinal, lo que es importante sobretudo durante canículas extremas de verano. Fuente: MétéoFrance, Aurhely, 1981-2010.

Suelo: El suelo, originado sobre calizas, es descarbonatado y muy pedregoso, con una textura limosa-arcillosa.

Vegetación: Abetal de montaña, de estructura regular, con un subpiso compuesto en particular por acebo (*Ilex aquifolium*), boj (*Buxus*)

Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.4.1.1 Estado inicial del rodal de actuación

El estado inicial del rodal se ha descrito a partir de la base de datos recogida antes de la intervención en la parcela de ensayo de acción silvícola. Se trata de un bosque de montaña dominado por el abeto común (*Abies alba*) en un 96% (Ver cuadro 1 para las características de los árboles con Diámetro > 17,5cm). La presencia de otras especies en el estrato superior es poco frecuente, con el haya (*Fagus sylvatica*) en 4%. No existen pies con diámetro entre 7,5 y 17,5 cm.

El estrato juvenil (diámetro < 7,5 cm) está representado por plántulas de abeto común (*Abies alba*), haya (*Fagus sylvatica*) y píceas común (*Picea abies*).

El estrato arbustivo se caracteriza por una cubierta importante de zarza (*Rubus fruticosus*), acebo (*Ilex aquifolium*), boj (*Buxus sempervirens*) y por algunos pies de adelfilla (*Daphne laureola*). El estrato herbáceo tiene una cubierta de 15%, constituido básicamente por *Carex sylvatica*.

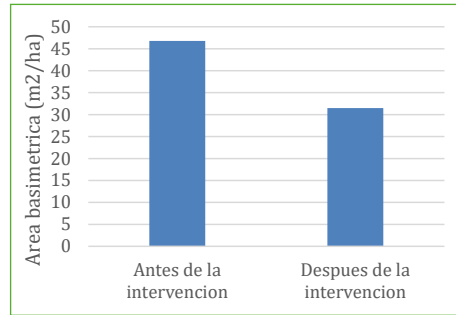
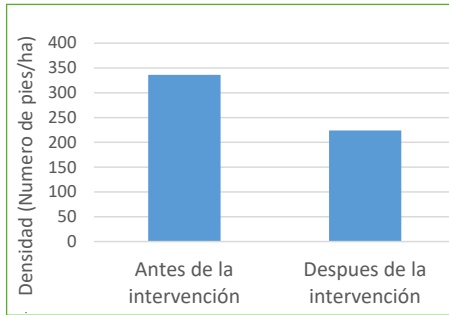
Tabla 3 Características dasométricas básicas del rodal de actuación antes de la intervención (D>17.5cm)

Variable	<i>Abies alba</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
Densidad adultos (pies/ha)	320	16
Área basimétrica (m ² /ha)	44,8	2,0
Diámetro cuadrático medio (cm)	42,2	40,3

3.4.1.2 Caracterización cuantitativa de la intervención

El efecto de la intervención se ha descrito a partir de la base de datos recolectada antes y después del tala en la parcela de ensayo de acción silvícola y para árboles con diámetro superior a 17,5 cm.

Efectos sobre el estrato arbóreo (dbh > 17,5 cm).



La intensidad de la tala es elevada. Considerando los árboles con diámetro > 17,5 cm, la densidad y el área basal se han sido reducidos en un 33%. El diámetro medio de los pies cortados es de 41,7 cm y el volumen extraído de 186 m³/ha. Se realizó, por tanto, una clara alta, con un ratio entre el volumen del pie extraído (Ve) respecto al volumen medio de los pies antes de la intervención (V) de 1.

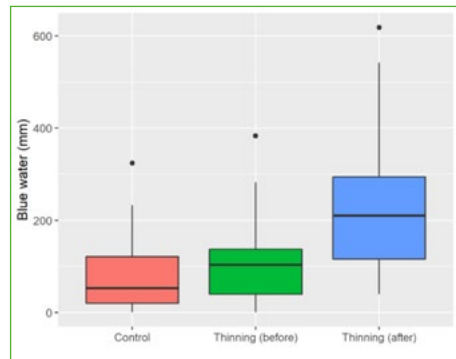
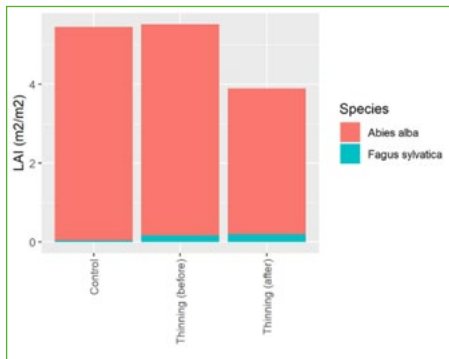
Efectos sobre el estrato juvenil (dbh < 17,5 cm)

Aucune tige de diamètre inférieur à 17,5 cm n'a été prélevée, afin de concentrer l'effort de coupe dans la strate dominante et d'améliorer la vitalité des houppiers.

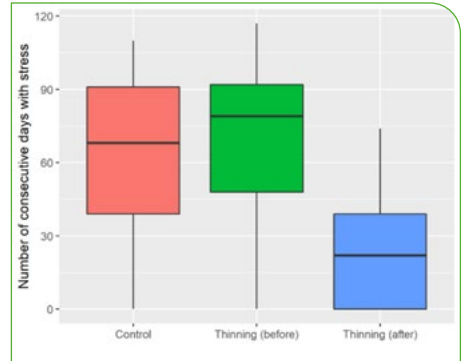
3.4.1.3 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

Ningún pie de diámetro inferior a 17,5 cm ha sido cortado, con el fin de concentrar el esfuerzo de corta en el estrato dominante y mejorar la vitalidad de las copas.

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Abies alba*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 5,52 a 3,89 m²/m², derivada de la disminución del número de pies. La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 104 a 230 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 72 a 25 días/año, en promedio, para *Abies alba*.



3.4.1.4 Evaluación final de la intervención

La intervención realizada en el rodal tenía tres objetivos:

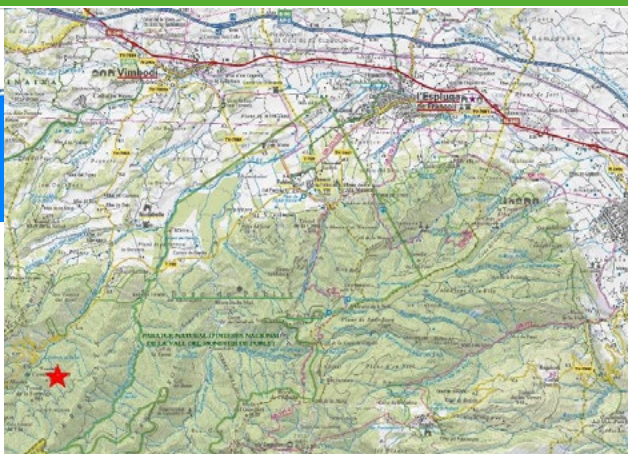
- Reducir la competencia para acceder al agua reduciendo la densidad del rodal
- Aumentar la vitalidad de las copas cortando árboles del piso dominante
- Provocar la llegada de una mezcla de especies

La acción silvícola ha permitido reducir la densidad y el área basal de 33%, lo que corresponde a una extracción fuerte. Por otra parte, el haya presente en la parcela de ensayo se ha sido mantenido para favorecer una masa mixta y facilitar la llegada de otras especies abriendo el rodal a la luz.

3.5 POBLET (TARRAGONA)

3.5.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites del rodal de actuació

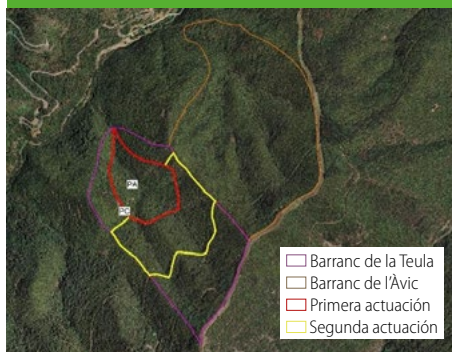
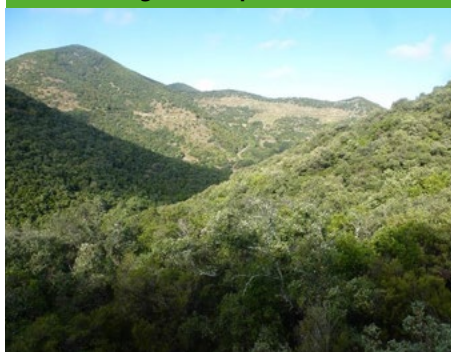


Imagen del tipo de masa



Socio: Centre de la Propietat Forestal

Emplazamiento de la actuación: Cataluña, Tarragona, Bosc de Poblet

Formación forestal: Monte bajo de encina pirenaica mezclada con madroño y con presencia de otras especies como el labiérnago prieto, el roble o el arce

Superficie del rodal seleccionado: 8,9 + 11,8 ha

Propietario/Gestor: Generalitat de Catalunya

Fecha de inicio de la intervención: octubre 2017

Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia,
Pesca, Alimentació i Medi Natural



Centre de la Propietat
Forestal

Objetivos generales:

El objetivo de la actuación es la regulación de la competencia, para conseguir:

1. Aumento de la vitalidad (mayor resiliencia)
2. Mayor eficiencia en el consumo de agua (agua verde)
3. Posible impacto sobre el caudal (agua azul)

Objetivos operativos:

1. Clara baja incidiendo principalmente sobre pies no inventariables. Se pasa de 4.000 pies/ha a unos 2000 pies/ha, sin extraer más del 30% del área basal, ni reducir la fracción de cabida cubierta por debajo del 70%
2. Respetar la proporción encina-madroño inicial, las especies acompañan es i los árboles con singularidades

Estado del rodal antes del tratamiento**Estado del rodal después del tratamiento****Resultados esperados con la intervención**

Obtener una masa forestal mejor adaptada al aumento progresivo de la aridez, y a la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos extremos (como sequías, incendios o plagas) derivados del cambio climático, mediante:

- El incremento del crecimiento individual del arbolado por reducción de la competencia, mejorando así su vitalidad y su estado hídrico (mayor eficiencia en el uso del agua).
- La conservación y mejora de la biodiversidad, incluyendo la promoción de las especies más adaptadas a la sequía y de los individuos procedentes de semilla (mejora de la diversidad genética). La reducción a medio plazo de la vulnerabilidad a incendios, por reducción de la continuidad vertical y el volumen de biomasa.

Con la actuación también se espera mejorar el balance hídrico en la cuenca (aumento del *agua azul*), mediante la disminución de la evapotranspiración y el aumento de la infiltración y de la escorrentía superficial.

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: El rodal se localiza en una cuenca cerrada de 45 ha que limita con otra cuenca gemela en la que no se ha realizado ninguna actuación. La pendiente media de la cuenca es moderada-alta (alrededor del 30%), y está orientada al noroeste (NW). La altitud de la cuenca oscila entre los 640-1080 m.

Clima: El clima es típicamente mediterráneo, aunque con matices (con una tendencia a la continentalidad). La orientación general del bosque, hacia el norte, también influye en el clima. La temperatura mediana anual es de 13,2 °C y la precipitación mediana anual se sitúa entre los 550 y los 600 mm.

Suelo: Suelos típicos de la cordillera Litoral Catalana bajo encinar de montaña y desarrollados a partir de depósitos coluviales de esquistos y pizarras. El perfil es bastante profundo (70-100 cm), bien drenado, de textura franca o franco-arenosa, y reacción ligeramente ácida. El contenido orgánico es muy elevado en superficie y en los primeros centímetros de suelo mineral. La elevada pedregosidad reduce el volumen de suelo disponible, aunque las raíces pueden profundizar fácilmente entre el coluvio o grietas del sustrato litológico.

Vegetación: La cuenca del Barranc de la Teula se carbonó intensivamente durante décadas y posteriormente se dejó de gestionar. Como consecuencia, actualmente existe una masa estancada, envejecida, con poca vitalidad, abundantes rebrotes y diámetros bajo (abundancia de pies no inventariables).

La formación vegetal es una masa mixta de encina y madroño acompañada de labiérnago prieto, roble, arce y otras especies.

3.5.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.5.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

Con el fin de valorar la situación inicial de la masa forestal, el resultado de la actuación y la evolución de la masa con el paso de los años se ha establecido una parcela permanente en el interior de la masa (8,9 ha) y otra en la zona control (masa con las mismas características que el rodal de actuación, pero donde no se ha realizado ningún trabajo silvícola). Ambas parcelas son circulares y tienen 15m de radio. En la zona de la segunda fase de la corta (11,8ha) se han establecido 3 parcelas de inventario más (2 de radio = 5m y 1 de radio = 8m).

La vegetación se ha caracterizado a través de la medición del área basimétrica, el diámetro de todos los pies mayores de 2,5cm (y altura mayor de 130cm) por especie, el recuento de los pies de <2,5 cm de diámetro, el número de pies por cepa, la cobertura y la altura media de las especies arbustivas, y cobertura de especies herbáceas.

Para poder estudiar el balance hídrico de la cuenca se han aplicado 2 metodologías:

- Aplicación del modelo teórico MEFDFATE para lo cual se ha caracterizado con detalle el suelo del rodal: la orientación, la pendiente, la litología (y clasificación del suelo), el perfil y la profundidad media del suelo. En la elaboración del perfil se han realizado 4 niveles alcanzando los 80-100cm de profundidad. Para cada nivel se han descrito la textura, la pedregosidad y la densidad aparente.

- Medidas directas de caudal con el aforamiento de la cuenca actuada y de una cuenca gemela control. Estas mediciones vienen realizándose durante los últimos 20 años por la Universidad de Alicante, que aportará información de series históricas y monitorización post-actuación.

3.5.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

En base a los datos de inventario, el rodal presenta una masa mixta de encina (*Quercus ilex*) y madroño (*Arbutus unedo*) con calidad de estación media (Qii_Au-B) y con acompañamiento de otras especies como el labiérnago prieto (*Phillyrea latifolia* subsp. *media*), el roble (*Quercus cerrioides*), etc.

Las características dasométricas de la masa son las siguientes:

	Densidad (pies/ha)	AB (m ² /ha)
<i>Quercus ilex</i>	2766	24,72
<i>Arbutus unedo</i>	672	6,54
<i>Phyllirea latifolia-media</i>	101	0,68
<i>Quercus cerrioides</i> (humilis x faginea)	3	0,06
TOTAL pies inventariables (diámetro > 7,5 cm)	3575	32,20
TOTAL pies no inventariables (diámetro < 7,5 cm)	4341	8,99
PIES TOTALES	7379	41,19

Densidad cepas (cepas/ha)	2403
Media pies por cepa (pies/cepa)	3,85
Máximo de pies por cepa (pies/cepa)	16

La fracción de cabida cubierta (fcc) estaba alrededor del 85%, el diámetro medio cuadrático era de 10,7 cm y la altura media era de 6,25m.

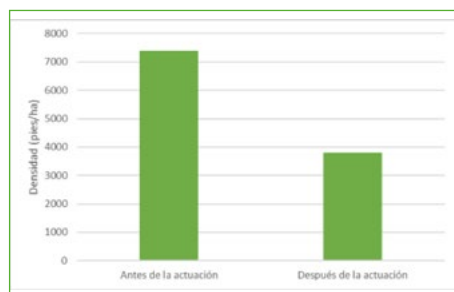
El recubrimiento arbustivo era muy bajo. En las zonas con mayor fcc estaba entorno al 8% y las principales especies presentes eran el brezo y el rusco. En las zonas un poco más abiertas dominaba la genista y la estepa con recubrimientos de hasta el 20%. El recubrimiento herbáceo también era bajo con valores entre el 10 y el 40%, formado principalmente por gramíneas y musgos.

En conjunto se trata de un bosque bajo con un exceso de densidad, envejecido y con baja vitalidad.

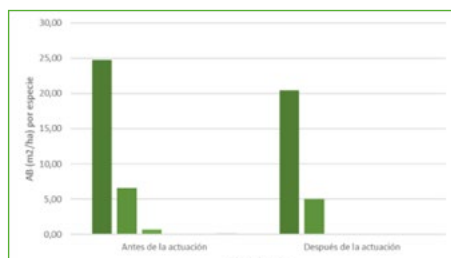
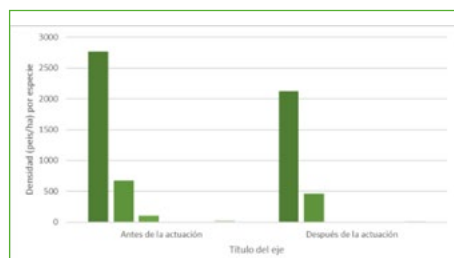
3.5.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

Con el fin de cumplir los objetivos fijados, se planificó una clara baja (siguiendo el modelo ORGEST de referencia Qii06) incidiendo principalmente sobre los pies no inventariables (CD5) y respetando la proporción encina-madroño existente.

Efectos sobre el conjunto de la masa



Efecto sobre los pies inventariables (CD≥10) por especies



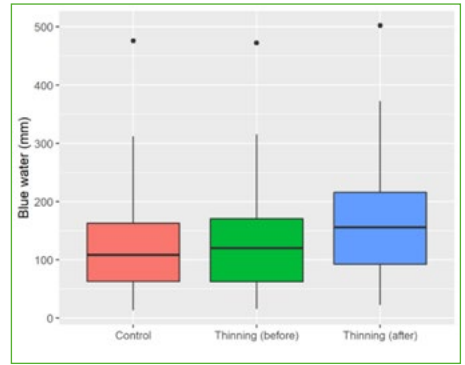
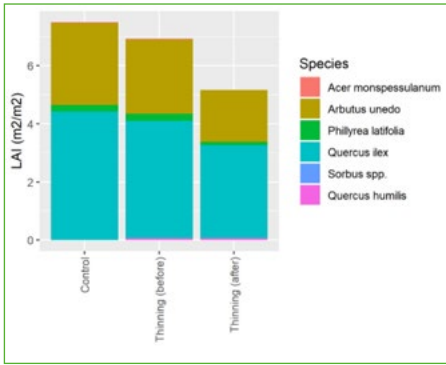
La actuación ha consistido en la extracción del 53% de los pies iniciales, concretamente se han cortado 964 pies/ha inventariables (CD≥10) y 2.512 pies/ha no inventariables (CD5). El peso de la actuación es del 23% del AB inicial, dejando un AB final de 25,7m²/ha. La fcc final es de 75%. La actuación ha permitido disminuir la alta competencia inicial sin abrir el dosel de copas.

También se ha mantenido la estructura de masa mixta (respetando las especies acompañantes) y se ha buscado crear una estructura poco vulnerable a grandes incendios forestales (GIF).

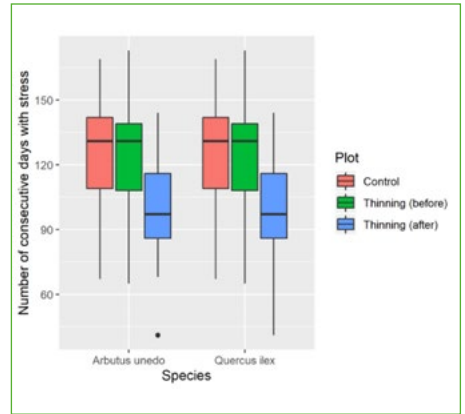
3.5.2.4 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate* (más detalles en la sección 3.2.1.4).

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Quercus ilex* y *Arbutus unedo*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 6,92 a 5,17 m²/m², principalmente debida a la reducción del número de pies. La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 136 a 172 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 126 a 101 días/año, en promedio, para *Quercus ilex* y *Arbutus unedo*.



3.5.2.5 Evaluación final de la intervención

La intervención realizada en el rodal tenía por principales objetivos: (i) el aumento de la vitalidad de la masa (mayor resiliencia), (ii) la mayor eficiencia en el consumo de agua (agua verde), y (iii) el posible impacto sobre el caudal (agua azul). Como objetivos secundarios se planteaba la conservación y mejora de la biodiversidad y la disminución de la vulnerabilidad frente a GIF.

La clara baja aplicada ha permitido reducir la competencia permitiendo una mayor disponibilidad de recursos para los pies restantes. Cabe esperar que la mejora de la vitalidad de la masa se vea reflejada a medio y largo plazo en un aumento del volumen de madera (crecimiento en diámetro y altura) lo que conlleva una mayor fijación de carbono a nivel individual.

Al mismo tiempo, al mantener una fcc alta, se espera controlar el rebrote (efecto indeseado ya que se busca una estructura regular menos vulnerable a GIF y potenciar los pies monopódicos y los de mayor tamaño).

Los resultados de la aplicación del modelo teórico MEDFATE parecen indicar que la actuación ha permitido aumentar a corto plazo tanto el agua disponible para la vegetación como el agua que sale por la cuenca ya que se ha reducido significativamente la interceptación inicial.

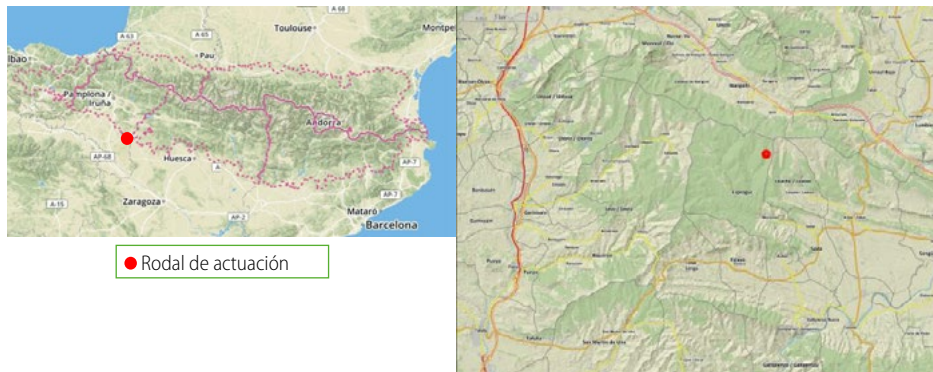
Con relación al impacto real observado sobre los caudales, las mediciones de los caudales que salen de la cuenca actuada en comparación con los caudales de la cuenca control (ambas aforadas) permitirán, a lo largo de los próximos años, valorar los cambios producidos como consecuencia de la actuación.▷

Finalmente, el tratamiento silvícola ha conservado la biodiversidad inicial al mantener las especies presentes inicialmente y conservar los pies con singularidades (árboles de grandes dimensiones, pies con microhábitats y madera muerta). Una vez se reduzcan los restos de la corta (en los próximos años) se conseguirá una estructura poco vulnerable a GIF.

3.6 EZPROGUI (NAVARRA)

3.6.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación

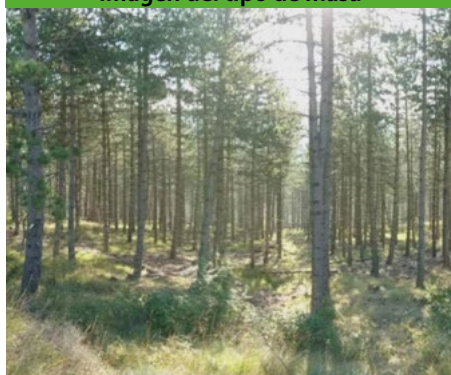


● Rodal de actuación

Límites del rodal de actuación



Imagen del tipo de masa



Socio: Gestión Ambiental de Navarra-Nafarroako Ingurumen Kudeaketa



Emplazamiento de la actuación : Navarra, Grupo de Montes de Sabaiza-Patrimonio Forestal de Navarra (Ezprogui)

Formación forestal: Pinar de Pino laricio (Pinus nigra var. Austriaca) procedente de repoblación

Superficie del rodal seleccionado: 2 ha

Propietario/Gestor: Gouvernement de la Navarre

Fecha de inicio de la intervención: 16/10/2017

Objetivos generales:

1. Regular la competencia entre el arbolado por el recurso hídrico y con ello aumentar la vitalidad de la masa.

Objetivos operativos:

Se divide la parcela de actuación en dos parcelas de igual superficie para llevar a cabo:

1. Reducción de la densidad (aprox. 30% del AB)
2. Reducción de la densidad (aprox. 15% del AB)
3. Desembosque con auto cargador

Estado del rodal antes del tratamiento**Estado del rodal después del tratamiento****Resultados esperados con la intervención**

- Mejora del estado hídrico y la vitalidad de los pies restantes tras la disminución de la densidad.
- Disminución de la susceptibilidad al ataque de patógenos.
- Disminución de la evapotranspiración del rodal y mejora del balance hídrico con el aumento de la infiltración y de la cantidad de agua disponible.

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: El rodal se localiza en una ladera de pendiente moderada (22,5°-23°), y orientación 110°. La altitud oscila entre los 865-900 m.

Clima: Dentro de la clasificación de Allué, el monte de Sabaiza se sitúa en un clima Nemoromediterráneo genuino o mediterráneo de transición, cuyas características principales son:

- las mínimas del mes más frío no superan los -7 °C
- duración de sequía de 2 meses (julio y agosto)
- precipitación media anual en torno a 750 mm
- período de helada probable mayor de 6 meses y período de helada segura menor de 2 meses

Suelo: Según el Mapa Geológico de Navarra 1:25000 Hoja 174-1, los parajes indicados en este documento están compuestos por suelos de la Era Terciario Continental, Edad del Arvenense Inferior. Los suelos se basan en una Alternancia de areniscas y lutitas ocres.

Los suelos están clasificados como suelos someros sobre material deleznable (según la clasificación de la FAO, Regosoles o según la clasificación americana, Xerorthents líticos). Estos suelos contienen inclusiones de la unidad Aibar (Xerorchrept calcixerollico) y de roca dominante.

Así, son suelos someros sobre material deleznable; están formados por arcillas, limos y margas, con intercalación de areniscas y calizas, con horizontes tipo A1-B2-Cca, de textura principalmente arcillosa o franco-arcillosa, según el tipo de roca madre. Se trata así de suelos con escasa o nula pedregosidad, de estructura granular, bien drenados con régimen hídrico xérico y calizos en todos los horizontes.

Vegetación: La especie arbórea principal de Sabaiza es el pino laricio de Austria, que representa más del 77% de la superficie del Grupo de Montes de Sabaiza, toda esta superficie fue repoblada artificialmente entre los años 50-60.

Después del pino laricio de Austria la siguiente especie en cuanto a la superficie es el roble pubescente que representa el 9%. Esta especie tiene menor representación superficial, pero es una especie autóctona de la zona, y por tanto merece su conservación.

Además, están presentes en menor proporción otras especies como el pino carrasco, pino silvestre, masas mixta de coníferas y frondosas, haya, mixtas de frondosas, quejigo, etc.

3.6.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.6.2.1 Estado inicial del rodal de actuación

En este pinar de pino laricio, procedente de repoblación, se ha observado en los últimos dos años, que algunos pies se han ido secando a una velocidad fuera de lo normal o de lo conocido hasta ahora, presentando síntomas de decaimiento. Los pies presentaban defoliación severa por procesionaria durante los últimos años, estaban muy debilitados, sobre todos los localizados en las zonas más altas, con suelos menos profundos. La falta de agua unida a las altas temperaturas que se han dado en estos últimos años, tanto en verano como en otoño, han provocado la muerte de estos pies ya debilitados.

La especie arbórea principal de Sabaiza es el pino laricio de Austria, que representa más del 77% de la superficie del Grupo de Montes de Sabaiza, toda esta superficie fue repoblada artificialmente entre los años 50-60.

Después del pino laricio de Austria la siguiente especie en cuanto a la superficie es el roble pubescente, especie autóctona de la zona, que representa el 9%.

Además, están presentes en menor proporción otras especies como el pino carrasco, pino silvestre, masas mixtas de coníferas y frondosas, haya, mixtas de frondosas, quejigo, etc.

Se describe el estado inicial del rodal de actuación a partir de los datos tomados antes de la intervención en las parcelas control y de actuación. Se trata de un monte procedente de repoblación

dominado claramente por Pinar de Pino laricio (*Pinus nigra* var. *Austriaca*). La presencia de otras especies en el estrato superior en estos rodales es nula.

Rodal ACTUACIÓN	Densidad (>7,5 cm) (pies/ha)	AB (m ² /ha)
A1 : <i>Pinus nigra</i> var. <i>Austriaca</i>	672	25,35
A2 : <i>Pinus nigra</i> var. <i>Austriaca</i>	768	24,5
Rodal CONTROL	Densidad (>7,5 cm) (pies/ha)	AB (m ² /ha)
C1 : <i>Pinus nigra</i> var. <i>Austriaca</i>	512	25,16
C2 : <i>Pinus nigra</i> var. <i>Austriaca</i>	512	21,26

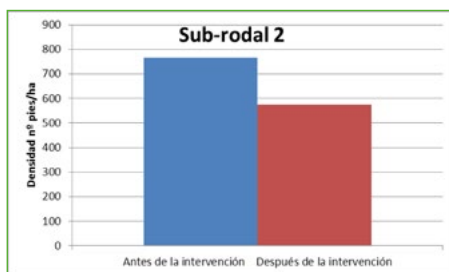
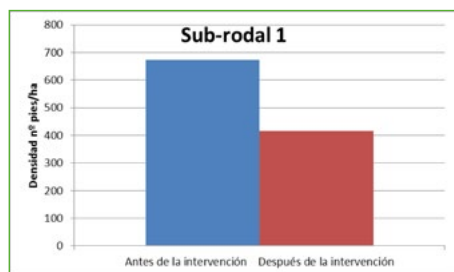
No existe un estrato de juveniles (dbh < 7,5 cm). Sí que existe, sin embargo, regenerado de altura inferior a 1,30 metros con una clara dominancia de brotes de *Pinus nigra*, habiendo presencia en este estrato, aunque en menor proporción, de brotes de *Quercus faginea*.

Finalmente, los estratos arbustivo y herbáceo se caracterizan por una dominancia del recubrimiento herbáceo (60-80%). Dentro del grupo de las arbustivas, dominan *Rubus ulmifolius*, *Buxus sempervirens*, *Rosa Canina*, *Juniperus communis* y *Crataegus monogyna*.

3.6.2.2 Caracterización cuantitativa de la intervención

Se describe el efecto de la intervención a partir de los datos tomados antes y después de la misma en la parcela de actuación.

Efectos sobre el estrato arbóreo (dbh > 5 cm). *Quercus pubescens*.



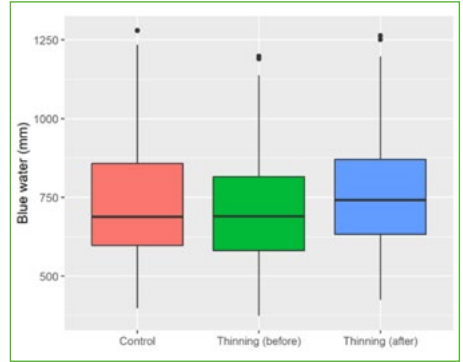
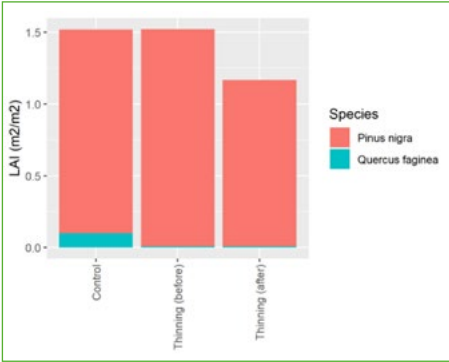
La intervención tuvo un efecto moderado sobre el estrato arbóreo, compuesto exclusivamente de *Pinus nigra* var. *austriaca* en la parcela de seguimiento de la actuación. La densidad de esta especie pasó de 672 a 416 pies/ha en el sub-rodal 1y de 768 a 576 pies/ha en el sub-rodal 2. El efecto sobre el área basimétrica fue más notorio, pasando de 25,35 a 17,59 m²/ha (subrodal 1) aproximadamente 30% del AB y de 24,5 a 20,9 m²/ha (subrodal 2) aproximadamente 15% del AB.

3.6.2.3 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

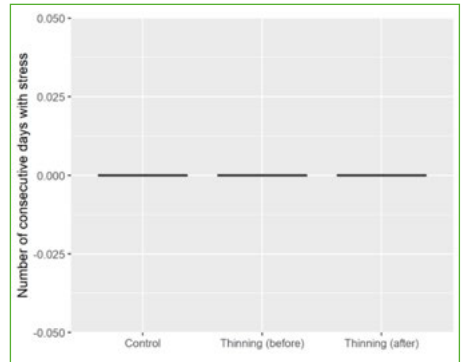
Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate*.

Sub-rodal 1

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Pinus nigra*

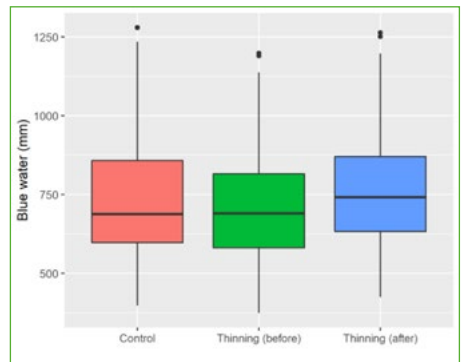
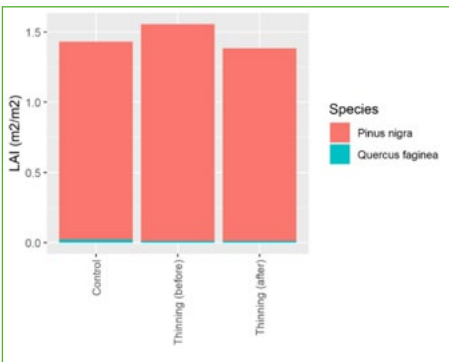


Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 1,52 a 1,17 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 732 a 788 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice que no hay problemas de estrés por sequía en ninguna parcela para *Pinus nigra*.

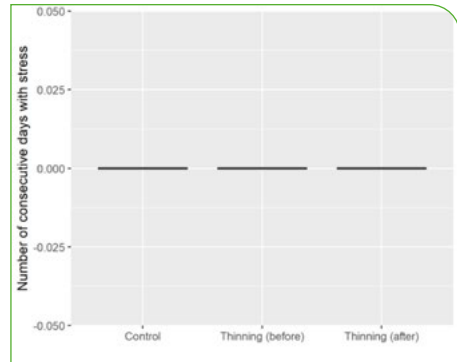


Sub-rodal 2

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Pinus nigra*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 1,56 a 1,38 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un leve incremento del agua exportada de 726 a 752 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice que no hay problemas de estrés por sequía en ninguna parcela para *Pinus nigra*.



3.6.2.4 Evaluación final de la intervención

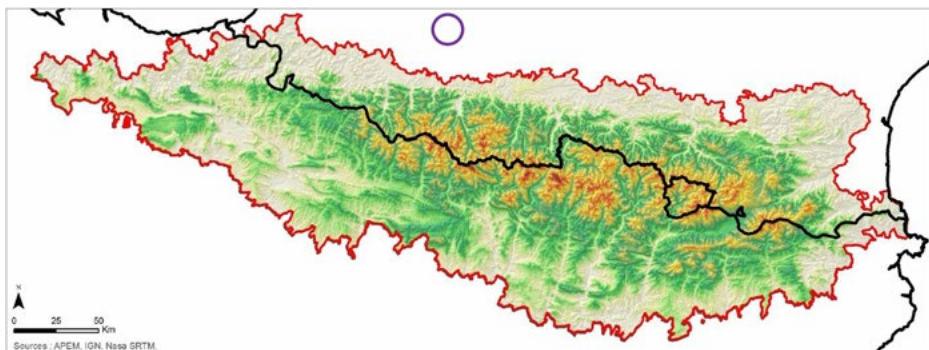
La intervención realizada en el rodal tenía por principal objetivo la regulación de la competencia entre el arbolado por el recurso hídrico y con ello aumentar la vitalidad de la masa.

La ejecución del tratamiento consiguió reducir por una parte más intensamente y por otra más ligeramente, la densidad y por tanto la competencia en el estrato superior.

3.7 SAINT LAURENT BRETAGNE (PYRENEES ATLANTIQUES)

3.7.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Coordonnées centre placette	X RFG93	Y RFG93
Placette 1 : TSF	440608.3	6258146.1
Placette 2: FR	440660	6258103

Límites del rodal de actuación

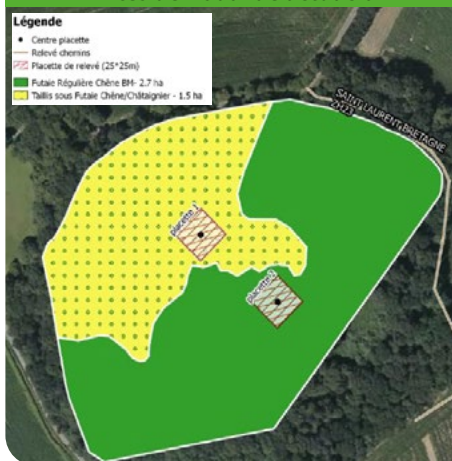


Imagen del tipo de masa



Socio: Centre Régional de la Propriété Forestière de Nouvelle- Aquitaine

Emplazamiento de la actuación: Pyrénées atlantiques, (64), Saint Laurent Bretagne

Formación forestal: Mezcla monte bajo y monte alto (Roble, castaño)
Monte alto de roble pedunculado

Superficie del rodal seleccionado: 4,2 ha

Propietario/Gestor: F. Arnautou

Fecha de inicio de la intervención: Marzo 2014



Objetivos generales:

1. Comparar los balances hídricos y sus evoluciones en función del régimen de gestión de los rodales: monte bajo de castaños con reservas de roble pedunculado por una parte y bosque coetáneo de roble pedunculado por otra parte.
2. Reducir la densidad del rodal
3. Mejorar el potencial de producción del rodal

Description de l'intervention :

1. Clara del rodal a lo largo del invierno 2014 para:
 - preservar una parte en mezcla monte bajo-monte alto (testigo)
 - convertir el rodal en monte alto regular en una segunda parte con un resalveo y una corta fuerte en el monte bajo
2. Instalación de un sitio de seguimiento en la primavera de 2017: recogida de datos sobre topografía, rodal y vegetación.

Estado del rodal antes del tratamiento



Estado del rodal después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

- Identificar la estructuras de rodal con mejor resistencia o resiliencia frente a las sequías.
- Aprender el impacto que pueden tener la estructura de los rodales y la mezcla de las especies sobre la evolución del balance hídrico, con el fin de concebir una gestión adaptativa frente a los efectos del cambio climático.
- Dinamización de la silvicultura con el fin de favorecer el crecimiento del roble pedunculado (y del castaño) que están en una situación pedológica límite.
- Evaluación de la producción de recursos madereros de calidad (defectos de forma, volúmenes...)
- Comparación de los resultados conseguidos según distintos modelos de balances hídrico del suelo

Descripción detallada del rodal de actuación

3.7.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.7.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

Las mediciones se aplicaron en las dos parcelas estudiadas: mezcla monte bajo/monte alto y monte alto.

El estudio del rodal se hace a partir de una parcela de ensayo de 25 x 25 m, es decir 625 m². Los 4 ángulos se calcularon en los cuatro puntos cardinales con brújula (100 grados para el Este, 200 grados para el Sur, 300 grados para el Oeste y 400 grados para el Norte) y el centro quedó registrado en el GPS para que el perímetro de la parcela de ensayo fuese fácilmente identificable.

Se anotaron entonces los siguientes datos:

- Estrato arbolado:
 - Área basal (muestra relascópica).
 - Especie y diámetro de todos los árboles con un diámetro normal de > 7,5 cm en las parcelas de 25 x 25 m.
 - Especie y número de tallos de los individuos con una altura > 130 cm y un diámetro comprendido entre 2,5 y 7,5 cm en una subparcela de 5 m de radio.
 - Especie y estimación de la densidad de los individuos con un diámetro < 2,5 cm y/o altura < 130 cm en una subparcela de 5 m de radio.
 - Posición de los árboles con un diámetro > 7,5 cm en el espacio.
- Estrato arbustivo: Cobertura (%) y altura media de cada especie.
- Estrato herbáceo: Cobertura (%) por grupo biológico (gramíneas o no). Si es posible, se anotó la especie más abundante.

El estudio del suelo se hace a partir de un perfil pedológico, realizado dentro de la parcela de tratamiento. Se describen los distintos horizontes encontrados y se utiliza para ello la estructura,

la textura (5 arena, % limo, 5 arcilla) y la pedregosidad (% en volumen de nivel ocupado por las piedras superior a 10 x 10 cm de superficie).

El balance hídrico

Dos modelos de balance hídrico diario (BILJOU y MEDFATE) serán utilizados para analizar la influencia del régimen forestal en el balance hídrico de los dos rodales

El análisis del balance hídrico de los dos rodales se hace a partir de:

- El estudio del suelo para entender el almacenamiento del agua y las reservas disponibles para el rodal.
- La descripción del rodal que permite caracterizar el uso y el consumo de agua en el rodal
- Datos meteorológicos diarios aportados por las estaciones de Lembeye o Pau-Uzein.

Seguimiento del sitio

Las mediciones se repetirán cada año hasta n+5 y después cada dos años. A cada medición se registrarán, conforme al protocolo ya descrito:

- Los diámetros con el fin de comparar el crecimiento anual.
- El área basal con el fin de comparar la evolución de la riqueza del rodal.
- El balance hídrico, para comparar el consumo de agua.

3.7.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

El estado inicial se midió el 22 de abril de 2017, después de la intervención silvícola descrita a continuación

Parcela	Especies	Densidad	Área basal
Mezcla monte bajo y monte alto resalveado	Roble y castaño	672 tallos/ha	12 m ² /ha
Mezcla monte bajo y monte alto testigo (sin resalveo)	Roble y castaño	1 059 tallos/ha	19.5 m ² /ha
Monte alto	Roble albar y roble pedunculado	385 tallos/ha	20 m ² /ha

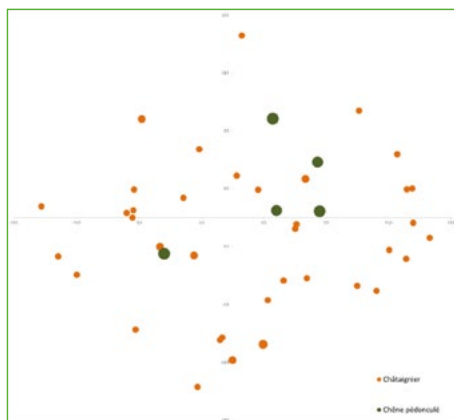
La mezcla monte bajo/monte alto se compone principalmente de dos especies. El castaño está presente con una densidad elevada en el piso inferior y el roble pedunculado ocupa el piso superior.

Para el monte alto, se observa el fenómeno inverso con un rodal compuesto en su mayoría de roble pedunculado y acompañado de diversas especies caducifolias.

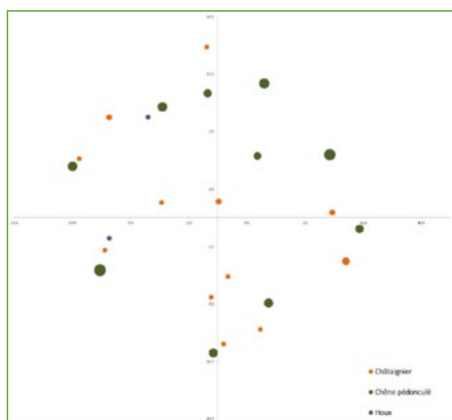
Las áreas basales son elevadas a pesar de la intervención reciente (enero 2014).

Posicionamiento de los árboles en las dos parcelas de ensayo

El posicionamiento se realizó registrando las distancias y azimuts de cada árbol en relación con el centro de la parcela de ensayo. El tamaño y el color de los lunares en la figura siguiente dependen de la especie y del diámetro de los árboles.



Monte alto



Mezcla monte bajo y monte bajo con resalveo

3.7.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

Durante el invierno de 2014 se practicó una corta de extracción de monte bajo. Esta explotación estaba mecanizada con el uso de una podadera acoplada a una pala mecánica. Las sacas se hicieron en la parte mezcla monte bajo y monte alto esencialmente (25-30 % del volumen de monte bajo y 70t/ ha) y se concentraron en los brotes de monte bajo concurrentes de menor calidad. Una zona testigo fué conservada en el rodal mezcla de monte bajo y monte alto.

En la parte considerada hoy como monte alto regular, el roble era denso y formaba una cubierta suficientemente importante como para impedir la regeneración del monte bajo de castaño.

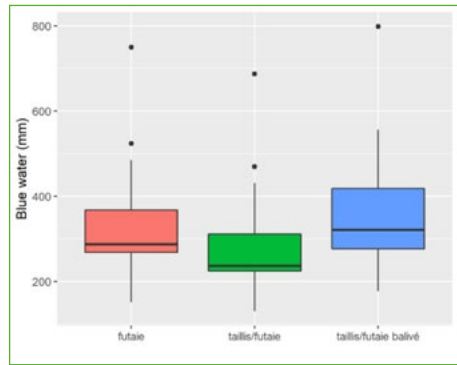
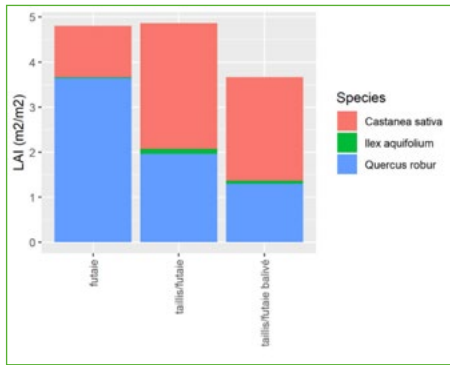
En la parte mezcla monte bajo/monte alto, las reservas de roble estaban menos presentes lo cual ha permitido una regeneración dinámica del castaño por rebrotes de cepa y la aparición de pies nacidos de la germinación de semillas.

La gestión implementada en cada uno de los rodales necesitará de las siguientes intervenciones silvícolas:

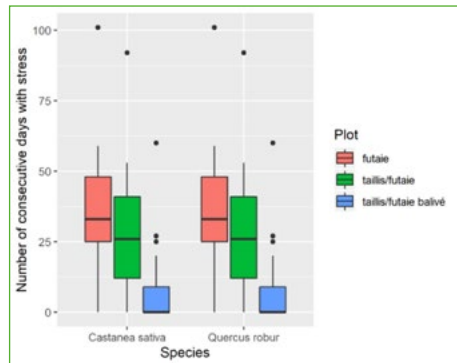
- Un resalveo en la parcela de mezcla monte alto/monte bajo a n+5.
- La continuación de las claras y cortas de mejora en la parcela de monte alto de roble a n+7.

3.7.2.4 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate*



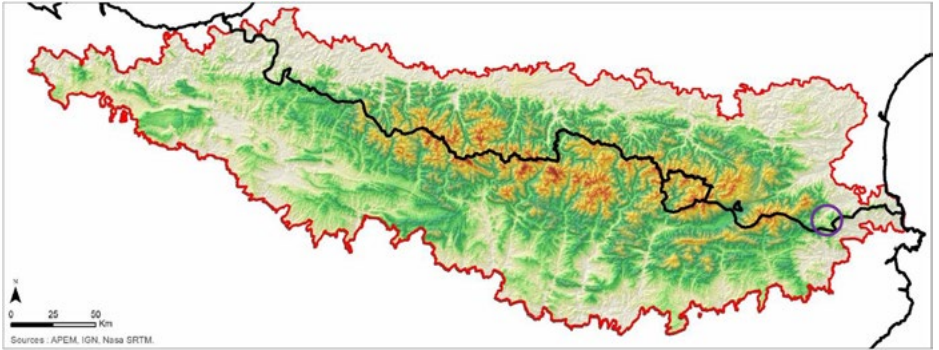
Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 4,86 a 3,67 m²/m² para la parcela con mezcla de monte alto/monte bajo. La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 230 a 325 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 30 a 10 días/año, en promedio, tanto para *Quercus robur* como para *Castanea sativa*, aunque dicha estimación no incorpora el crecimiento después de la intervención.



3.8 SAINT LAURENT DE CERDANS (PYRENEES ORIENTALES)

3.8.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites del rodal de actuación

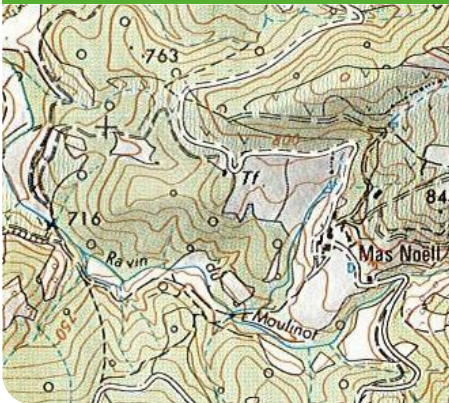


Imagen del tipo de masa



Socio: Centre Régional de la Propriété Forestière d'Occitanie

Emplazamiento de la actuación : Occitanie, Pyrénées-Orientales (66), Saint-Laurent de Cerdans

Formación forestal: Taillis de châtaignier

Superficie del rodal seleccionado: 2 ha

Propietario/Gestor: SCI du Noell

Fecha de inicio de la intervención: 2017



Objetivos generales:

1. Reducción de la densidad en provecho de los retoños vigorosos (estado sanitario, crecimiento) apuntando a un rodal más resistente y resiliente.
2. Favorecer la mezcla con robinia y varias otras especies que presenten menos signos de decaimiento.

Objetivos operativos :

1. Clara del rodal a lo largo del invierno 2016-2017 por resalveo (localización de tallos con porvenir) y limpia (supresión de los tallos directamente competidores).
2. Registros en el terreno de las parcelas testigo y clareo en agosto de 2017.

Estado del rodal antes del tratamiento



Estado del rodal después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

- Hacer el rodal más resistente a los extremos climáticos debido a la mezcla de especies y a la presencia de robinia más resistente que el castaño a la sequía.
- Hacer el rodal más resiliente por las mismas razones.
- Disminuir la tasa de decaimiento.
- Disminución de la evapotranspiración del rodal y mejora del balance hídrico con el aumento de la infiltración y de la cantidad de agua disponible.
- Fomentar la producción de madera de construcción de calidad.

Descripción detallada del rodal de actuación

- Topografía:** La parcela está situada en un pequeño valle encastrado en una pendiente (15-20%), orientada al suroeste (SO). La altitud varía de 715 a 775 m.
- Clima:** Los datos climáticos de treinta años, 1981-2010, indican una temperatura media de 12,6°C y una pluviosidad media anual correcta (1050 mm). Durante el periodo vegetativo (de abril a octubre), la pluviosidad media es del orden de 650 mm y el mes más seco es el mes de julio.
- Suelo:** Rodal situado sobre roca granítica profunda (superior a 60 cm), su suelo es de textura arenosa, con baja reserva de agua, una acidez pronunciada.
- Vegetación:** Situado en el valle de la Tech, este rodal está en el corazón de la región IFN del Vallespir. La guía de las estaciones (CRPF, 2012) permite determinar la estación: G12 – Estaciones del piso supramediterráneo en condiciones medias. En términos de hábitat las parcelas plantadas hace mucho tiempo son dominios del castaño (código Corine Biotope 41.9). Antes de la intervención silvícola, el rodal era un monte bajo dominado ampliamente por el castaño de 15 a 20 años. Algunos cepellones muestran signos de agotamiento por falta de renovación sexual y numerosos castaños presentan signos de decaimiento. Con el fin de mejorar el estado sanitario del rodal y el potencial de producción, un claro ha permitido seleccionar los tallos más vigorosos y favorecer la mezcla privilegiando con el resalveo los quejigos, pero también los arces, tilos, fresnos o robles...

3.8.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.8.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

El rodal inicial y el rodal resalveado fueron objeto de un inventario (parcela de ensayo cuadrada de 25 m de lado) para disponer de datos cuantitativos y cualitativos del rodal, de la cubierta de las especies arboladas, arbustivas y herbáceas (gramíneas y no). La renovación y la regeneración han sido evaluadas en una subparcela de ensayo circular de 5 m de radio.

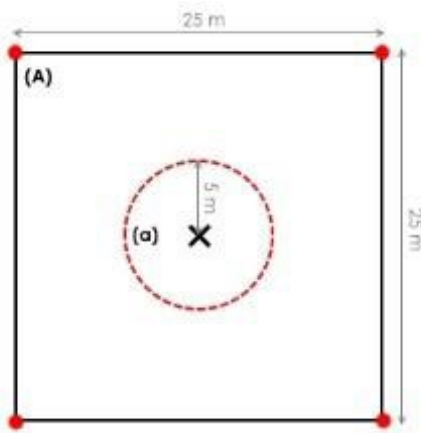


Figura 6 Figura x. Configuración de las parcelas de inventario, con una parcela de ensayo (A) cuadrada de 25 x 25 metros, en la cual se inventariaron todos los árboles de diámetro a 1,3m > 5 cm y una subparcela de ensayo (a) circular de 5 metros de radio en la cual se inventariaron todos los árboles con un diámetro a 1,3m < 5 cm.

3.8.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

El rodal inicial es una mezcla de joven monte bajo denso (1056 tallos/ha) dominado por *Castanea sativa* (656 tallos/ha) de un diámetro cuadrático medio de 16,33 cm (Tabla 4). En el estrato superior, *Robinia pseudoacacia* y *Acer platanoides* completan el rodal. Los retoños de *Castanea sativa* presentan signos de pérdida de vitalidad (desecamiento) imputable al envejecimiento del cepellón y también a las modificaciones climáticas.

Los árboles inferiores a 5 cm de diámetro a 1,3 m son todavía numerosos debido a los cepellones, pero muchos de ellos están en decaimiento debido a la escasez de luz que reciben.

Finalmente, el estrato herbáceo presenta una cubierta de aproximadamente 70 %. Las gramíneas cubren aproximadamente el 50% y están dominadas por *Deschampsia flexuosa*. En el 20 % restante, *Quercus pubescens* es la especie dominante.

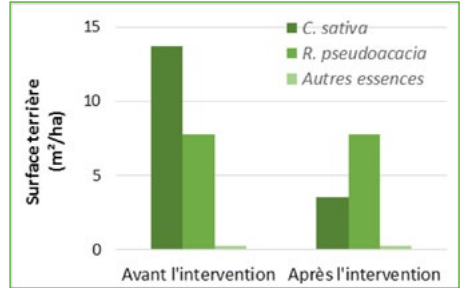
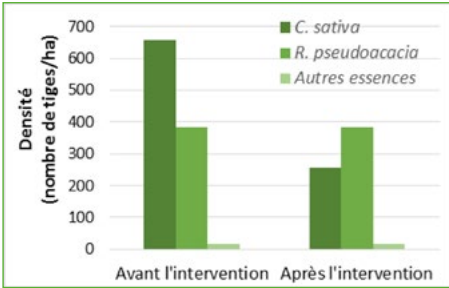
Tabla 4 Características dasométricas principales del rodal antes de la intervención

Variable	<i>C. sativa</i>	<i>R. pseudoacacia</i>	Otras
Densidad de los árboles adultos ³ (tallos/ha)	656	384	16
Área basal (m ² /ha)	13,74	7,75	0,28
Diámetro cuadrático medio (cm)	16,33	16,02	15
Densidad de los árboles jóvenes ⁴ h>1,3 m (tallos/ha)	509	127	254
Densidad de los árboles jóvenes h<1,3 m (tallos/ha)	0	0	254

3.8.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

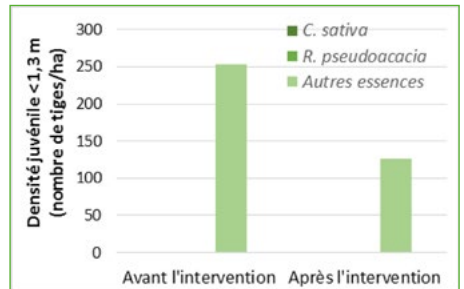
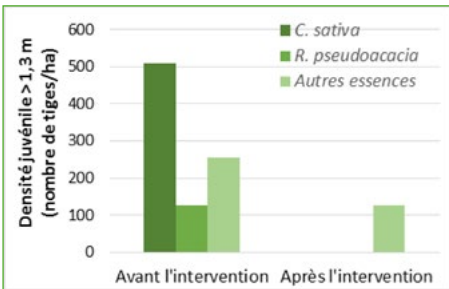
La intervención consistió en un resalveo (selección de los tallos más vigorosos) y una poda de manera a suprimir los tallos directamente concurrentes. En el momento de elegir a los árboles se ha favorecido el *Robinia pseudoacacia*, para reequilibrar la mezcla de especies.

Efectos sobre el estrato arbóreo (diámetro à 1,3m > 5 cm).



La intervención ha tenido una fuerte influencia sobre el estrato arbóreo, en especial centrándose en *Castanea sativa* y sobre todo en los tallos en decaimiento. La densidad global ha pasado de 1056 a 656 tallos/ha, es decir una reducción de casi 38%. El efecto es todavía más marcado en el área basal que pasó de 21,77 a 11,60 m2/ha, es decir 46,71% de saca. Esta intervención puede parecer muy fuerte, pero se hizo en un rodal joven en su fase de crecimiento más importante y podemos entonces esperar que el rodal se volverá a cerrar rápidamente. Además, el reequilibrado entre las dos especies es efectivo y *Robinia pseudoacacia* incluso resulta mayoritaria después de la explotación.

Efectos sobre los rebrotes y el regenerado (diámetro a 1,3m < 5 cm)

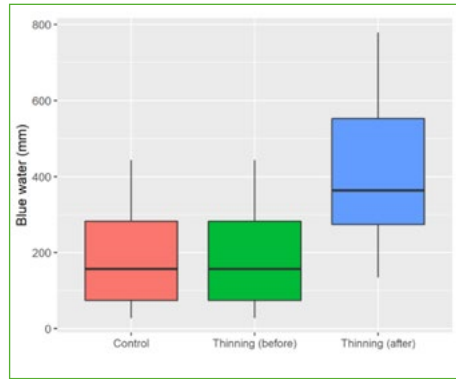
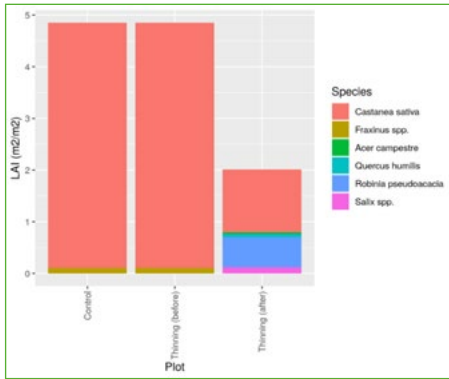


La intervención individualizó a menudo los tallos más hermosos en su cepellón. De esa manera los tallos dominados del cepellón han sido explotados de allí la disminución muy importante de los tallos de *Castanea sativa* inferiores a 5 cm de diámetro. La regeneración (altura inferior a 1,3m) estaba poco presente en un principio en la parcela debido a su cubierta cerrada y a su densidad importante; la intervención no se centró entonces en este estrato de la vegetación.

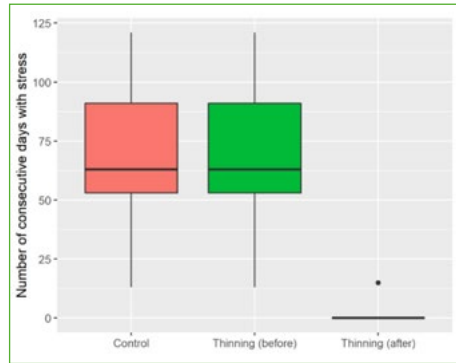
3.8.2.4 Efecto de la intervención sobre el balance hídrico

Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate*.

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Castanea sativa*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 4,85 a 1,98 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico del rodal predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 199 a 410 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 60 a 0 días/año, en promedio, para *Castanea sativa*, aunque dicha estimación no incorpora el crecimiento después de la intervención.



3.8.2.5 Evaluación final de la intervención

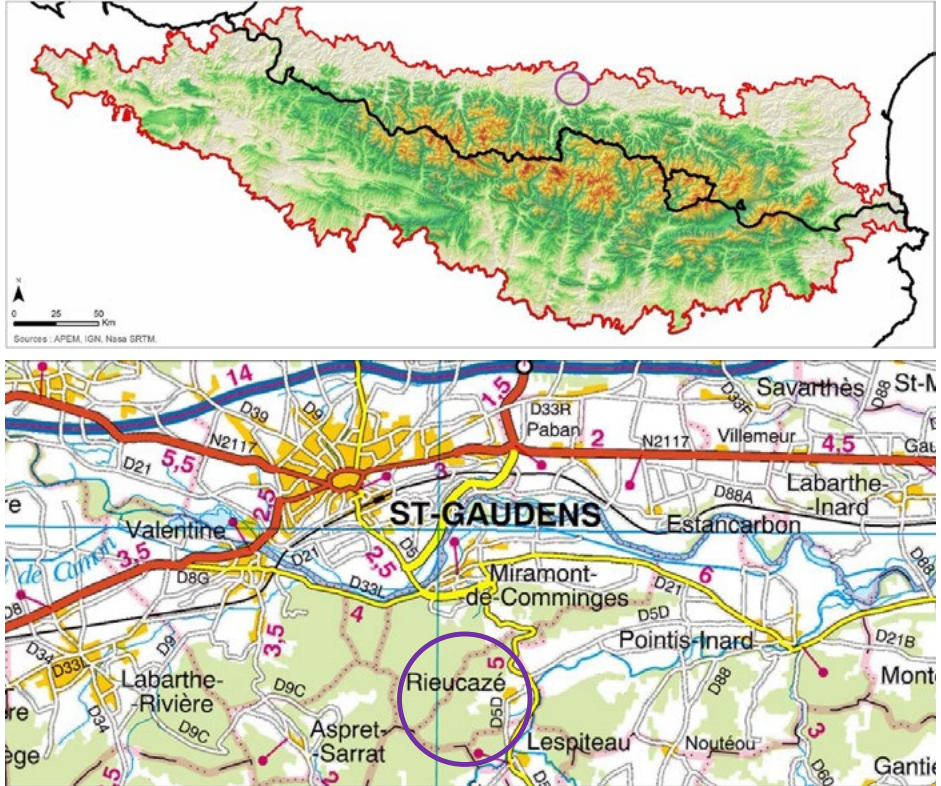
Las decisiones silvícolas tomadas en este rodal se dirigen a: (i) disminuir la densidad de masa forestal, (ii) reequilibrar la mezcla de especies y (iii) minimizar los riesgos frente a las condiciones climáticas inciertas seleccionando los tallos más vigorosos en el momento del claro.

Al ser demasiado reciente la intervención, no es posible de momento emitir conclusiones definitivas y habrá que esperar al próximo claro para juzgar del fundamento de esta intervención y de sus resultados, en particular en lo que se refiere al estado sanitario y a la productividad. Por lo pronto, las simulaciones derivadas del modelo Medfate tienden a un resultado del todo beneficioso para el rodal, traducándose en una reducción muy significativa del número de días de estrés hídrico y un aumento de la cantidad de agua exportada.

3.9 RIEUCAZÉ (HAUTE-GARONNE)

3.9.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del ensayo



Plan del ensayo



Tipo de rodal



Socio: Centre Régional de la Propriété Forestière d'Occitanie

Emplazamiento del ensayo : Occitanie, Haute-Garonne (31), Rieucazé

Rodal: : Joven plantación de douglas

Superficie de la parcela seleccionada : 2 ha

Propietario/Gestor: GF Famille JULLIA Gilbert

Fecha del comienzo de la intervención : 2018



Objetivos generales:

1. Comparar procedencias de douglas en su resistencia a las sequías estivales
2. Comparar el rodal natural con el rodal plantado con douglas

Descripción de la intervención:

1. Corta a tala rasa del rodal inicial (invierno 2017-2018)
2. Preparación del suelo ((hoyos trabajados) y trituración en noviembre 2018)
3. Plantación por 780 tallos/ha de tres bloques (luzette puro, californiano puro y mezcla por línea de californiano-luzette) en enero de 2019
4. Protección de los tallos contra la fauna cinegética (enero 2019)

Estado del ensayo antes del tratamiento



Estado del ensayo después de tratamiento



Resultados esperados de la intervención

- Identificar una procedencia con mejor resistencia a la sequía.
- Identificar La procedencia con una tasa baja de decaimiento.
- Regulación del consumo de agua por medio de una densidad baja de plantación.
- Evaluación de la producción de madera para construcción de calidad (defectos de forma, volúmenes...)

Descripción detallada del ensayo

- Topografía :** La parcela está situada en una ladera de pendiente suave a media (15-25%), orientada al sureste (SE). La altitud varía entre 400 y 450 m.
- Clima:** Los datos climáticos de treinta años (periodo 1981-2010) muestran una temperatura media de 12,1°C y una pluviosidad moderada (800 mm). En el periodo de vegetación (de abril a octubre), la pluviosidad media es del orden de 470 mm con un déficit hídrico importante en el mes de julio (mes subseco).
- Suelo:** El suelo evolucionado a partir de flysch, es de textura limosa-arcillosa, bastante fértil, bastante profundo (> 60cm) y una acidez moderada (pH 5,5).
- Vegetación:** Situada en pleno corazón del piedemonte pirenaico, esta parcela de fondo de valle está localizada en medio de la región IFN (Inventario forestal Nacional) de Petites-Pyrénées. A partir de la guía práctica de identificación del medio (GONIN, 2001) la estación corresponde a un robledal-fresneda- hayedo pradera de pendiente de valle - 3V. En términos de hábitat, el rodal corresponde a un hayedo con hipérico (*Hypericum androsaemum*) (código Corine Biotopo 41.1).
 Antes de la intervención silvícola, el rodal forestal era una mezcla monte baj y-monte alto dominada por reservas, principalmente de roble y hayedo, de 80 a 100 años. El monte bajo de unos treinta años era relativamente suelto y en su mayoría constituido por castaños y carpinos.
 Con el fin de diversificar su bosque, el propietario ha deseado probar una especie que no estaba presente aún en su propiedad: el douglas. Como el rodal se situaba al límite de la estación (baja altitud, precipitaciones limitantes) y en previsión de los efectos del cambio climático, se aconsejó diversificar testando la procedencia californiana de los douglas.

3.9.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.9.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

De las tres modalidades de plantación (procedencia Luzette pura, procedencia California pura y mezcla por línea de las dos procedencias), se ha seguido en el tiempo una muestra de 80 árboles (parcelas de ensayo de aproximadamente 720m² cada una: 12m por 60m) situada en el medio de cada modalidad.

Los primeros años, el seguimiento del ensayo se centró en la tasa de recuperación, los defectos de forma, y el crecimiento de los árboles. Las anotaciones sobre el terreno se han previsto para el año de plantación n , así como para los años $n+1$, $n+2$, $n+3$ y $n+5$ (estatus del árbol, altura total, estado sanitario, defecto de crecimiento) y después cada 5 años (circunferencia a 1,3m).

En lo que atañe el rodal inicial, se ha realizado un censo antes de la intervención de manera a disponer de datos cuantitativos y cualitativos relativos al rodal adulto (parcela de ensayo cuadrada de 25 m de lado), a la renovación y a la regeneración (subparcela de ensayo circular de 5m de radio) así como a la cubierta de las especies arboladas, arbustivas y herbáceas (gramíneas y no gramíneas).

3.9.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

El rodal, en su estado inicial, es una mezcla monte bajo-monte alto dominada por reservas de *Quercus petraea* de un diámetro cuadrático medio de 40,95 cm para aproximadamente 208 pies/

ha (Tabla 5). En el estrato superior (20 a 26m), *Fagus sylvatica* y *Prunus avium* completan el rodal de monte alto. El monte bajo ocupa un estrato inferior (14 a 20m) y está dominado por *Carpinus betulus*, *Castanea sativa* y *Acer campestre*.

Como consecuencia de la densidad de copas del el rodal adulto la falta de luz limita el crecimiento del estrato arbustivo y la regeneración a unos pocos pies de *Carpinus betulus*, *Ilex aquifolium* y *Crataegus monogyna*.

Finalmente, el estrato herbáceo presenta una cubierta de aproximadamente 65 %. Las gramíneas cubren aproximadamente 15% y están dominadas por *Carex flacca* y *Mélica uniflora*. En los 50% restantes, *Ruscus aculeatus* es la especie dominante y su densidad a veces importante puede entorpecer la regeneración.

Tabla 5 Principales características dasométricas del rodal antes de la intervención

Variable	Q. petraea	F.sylvatica	C. betulus	Otras
Densidad de los árboles adultos ⁵ (tallos/ha)	208	48	432	368
Área basal (m ² /ha)	27,39	1,25	5,46	7,84
Diámetro cuadrático medio (cm)	40,95	18,19	12,68	16,48
Densidad de los árboles jóvenes ⁶ h>1,3 m (tallos/ha)	0	0	64	80
Densidad de los árboles jóvenes h<1,3 m (tallos/ha)	75	50	400	175

3.9.2.3 Description de l'intervention sylvicole

La intervención ha consistido en una transformación del rodal a partir de una corta a tala rasa del rodal inicial y una trituración in situ de los remanentes y de la vegetación existente con el fin de facilitar el acceso para realizar la plantación y, también, limitar la vitalidad de la vegetación competidora (en agua y luz) durante el primer año de la plantación. La instalación de los pies ha sido facilitada por una preparación del suelo, localizada en los hoyos que han sido trabajados a una profundidad de 50cm. Esta operación ha permitido ablandar el suelo para facilitar el enraizamiento de los pies y, aunqueno se haya comprobado, seguramente ha mejorado localmente la retención de agua por el efecto « cuenco » en el suelo.

⁵ Individuos adultos: diámetro a 1,3m > 5 cm

⁶ Individuos jóvenes: diámetro a 1,3m < 5 cm

La densidad de plantación ha sido ligeramente inferior a la habitual en plantaciones tradicionales con la esperanza de minimizar la rivalidad por el agua de los futuros árboles; así en vez de una densidad tradicional de unos 1100 pies/ha, se han plantado 780 pies/ha, es decir una reducción del 29 %. El patrón de plantación ha sido además adaptado con el fin de obtener una parcelación de explotación de 5m de ancho ,que evite las claras sistemáticas y favorezca las claras selectivas.

Finalmente se ha prestado una atención particular a la elección del material vegetal de plantación, diversificando las procedencias. Además de la procedencia tradicional de Luzette, se eligió la procedencia californiana de la cual se espera una mayor capacidad de resistencia y resiliencia a las sequías y canículas. Además, el hecho de mezclar varias procedencias permite diversificar la base genética con la esperanza de minimizar los riesgos frente a sucesos climáticos extremos.

3.9.2.4 Efecto de la intervención en el balance hídrico

Los rodales antes y después de la intervención son tan distintos de momento (exceptuando las especies, un rodal es adulto y el otro muy joven) que una comparación del balance hídrico resultaría poco juiciosa.

En cambio, de aquí a cuarenta años se podrá estudiar el estado sanitario y el balance hídrico entre el testigo natural y el rodal plantado de Douglas. Finalmente, sin esperar 40 años, una comparación del crecimiento y del estado sanitario de las dos procedencias de Douglas podrá aportarnos también enseñanzas interesantes.

3.9.2.5 Balance de la intervención silvícola

Los tratamientos silvícolas realizados en esta parcela estaban dirigidos a: (i) diversificar las especies presentes, (ii) comparar procedencias de Douglas, particularmente, en cuanto a sus caracteres de resistencia-resiliencia y (iii) minimizar los riesgos frente a las condiciones climáticas extremas, mezclando especies y procedencias.

La plantación es aún demasiado joven para extraer conclusiones. Se considera que será necesario un mínimo de diez años para tener resultados interesantes, como, por ejemplo, la mortalidad en los 5 primeros años y potenciales diferencias de en el crecimiento juvenil o en su productividad.

3.10 VILLANÚA (ARAGÓN)

3.10.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites del rodal de actuación

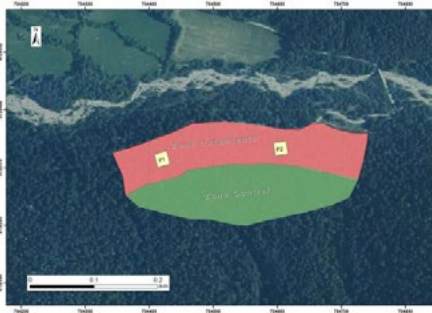


Imagen del tipo de masa



Socio: Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)



Emplazamiento de la actuación : Aragón, Huesca, Villanúa

Formación forestal: Abetal montano.

Superficie del rodal seleccionado: 4.93 ha

Propietario/Gestor: Ayuntamiento de Villanúa/Gobierno de Aragón

Fecha de inicio de la intervención: Junio 2017



Objetivos generales:

1. Réduction de la concurrence du peuplement au moyen de l'extraction d'individus dont l'avenir peut être compromis.
2. Réaliser l'intervention avec une technique qui minimiserait ses effets négatifs.

Objetivos operativos:

1. Selección de individuos con futuro comprometido.
2. Apeo de dichos individuos.
3. Troceado de los restos de madera.
4. Transporte madera y reparación accesos.

Estado del rodal antes del tratamiento



Estado del rodal después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

Es esperable que los árboles presenten una menor competencia tras la actuación, lo que probablemente conlleve una estimulación en el crecimiento y una mejora de la vitalidad a corto plazo tanto a nivel individual como en el conjunto del bosque. Además, la menor densidad de individuos conllevará una mayor disponibilidad de recursos hídricos que podría permitir amortiguar el estrés por sequía o al menos minimizar sus efectos negativos. Por último, estas actuaciones permitirán determinar la efectividad de la gestión forestal frente a los impactos derivados del cambio climático en los abetares pirenaicos.

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: Altitud= 1200-1350m.

Orientación= 20-25°

Pendiente: 10-15%

Clima: El clima en la zona de estudio es templado con una temperatura media anual de 8,5 °C y una precipitación de 1310 mm. Sin embargo, el abetal del Paco de Villanúa está también sometido a sequías, tal como indica el índice de precipitación- evapotranspiración estandarizado (SPEI de sus siglas en inglés "Standardised Precipitation- Evapotranspiration Index"; <http://spei.csic.es/>). El SPEI indica valores negativos (condiciones secas) y positivos (condiciones húmedas) en distintas escalas temporales, y es útil para determinar los efectos de las sequías sobre los bosques. De esta forma, en las últimas décadas, observamos periodos especialmente secos, como 1994-1995, 2003-2005 y 2009-2012 según el índice SPEI de agosto calculado para una escala de 4 meses.

Suelo: Suelos básicos. De tipo franco o franco-arenoso. Con un porcentaje de humedad entorno al $26 \pm 9 \%$.

Vegetación: Las parcelas están dominadas por *Abies alba* con baja presencia de *Pinus sylvestris*. En el estrato arbustivo hay presencia de especies como *Buxus sempervirens*, *Crataegus monogyna*, *Corylus avellana* o *Ilex aquifolium*

3.10.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.10.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

1. Divulgación de los objetivos de la actuación entre los "stakeholders" (municipio, turistas, gestores, científicos).
2. Selección y marcaje de abetos y de algunos pinos silvestres según los criterios mencionados en el apartado anterior
3. Medición de sus características dasométricas básicas: altura, diámetro, estado sanitario
4. Apeo de árboles seleccionados. En general, se pasa de un densidad de entorno a los 800 pies/ha a 650 pies/ha y la área basimétrica extraída es de aproximadamente el 19%.
5. Desembosque mediante trozas de reducidas dimensiones y arrastre mediante "skydder" desde la pista o antiguas trochas.
6. Troceado in situ de restos resultantes de madera.
7. Tratamiento con cicatrizantes en los posibles pies dañados durante la actuación, así como en los tocones resultantes para evitar posibles afecciones de hongos patógenos.
8. Transporte de la madera y reparación de la pista de acceso.

3.10.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

Antes de la actuación el rodal se caracteriza por la clara dominancia del Abeto con 680 pies/Ha. El Pino silvestre está también presente en el estrato arbóreo, con una densidad de 104 pies/ha. Además, en el estrato arbóreo, encontramos espontáneamente individuos de *Corylus avellana* y *Crataegus monogyna*.

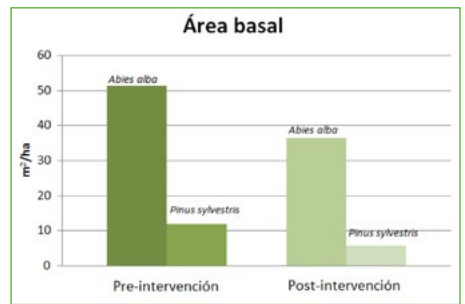
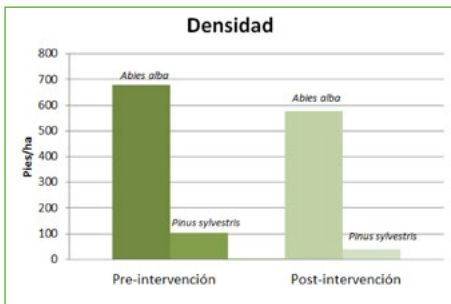
En el estrato arbustivo encontramos, *Crataegus monogyna*, *Buxus sempervirens* y *Ilex aquifolium*.

Especie	Densidad (individuos con diámetro > 7,5 cm) (pies/ha)	Área Basal (m ² /ha)
<i>Abies alba</i>	680	51
<i>Pinus sylvestris</i>	104	12
TOTAL	784	63

3.10.2.3 Descripción de l'intervention sylvicole

Se describe el efecto de la intervención a partir de los datos tomados antes y después de la misma en la parcela de actuación.

Efectos sobre el estrato arbóreo (dbh > 5 cm).

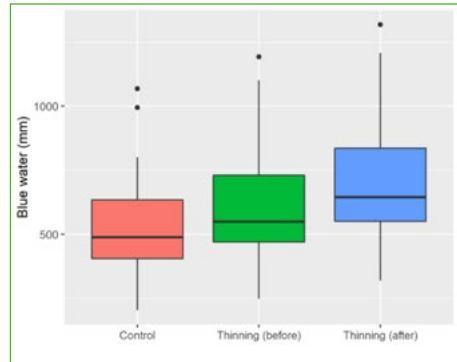
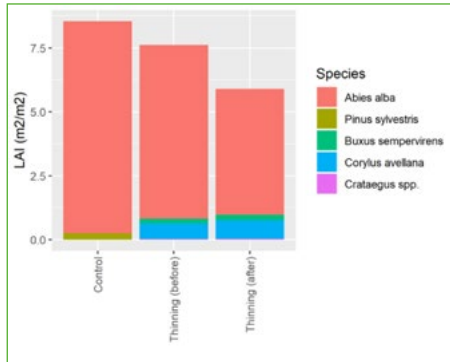


La intervención redujo la densidad de abetos de 680 pies/ha a 576 pies/ha esto en términos de área basal supuso pasar de 51 a 36 m²/ha. En el caso del pino silvestre se pasó de 104 a 40 pies/ha con una reducción de área basal de 12 a 5,8 m²/ha.

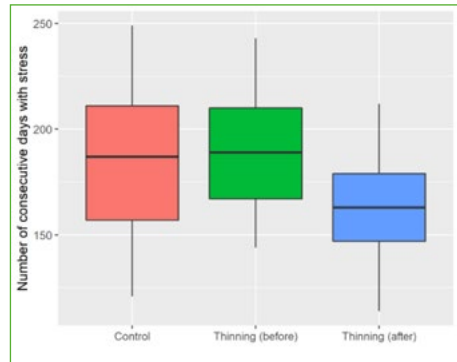
3.10.2.4 Efecto de la intervención en el balance hídrico

Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate* (más detalles en la sección 3.2.1.4)

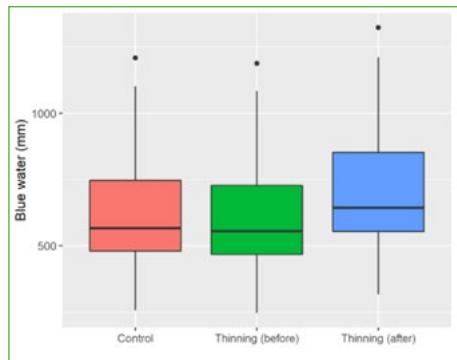
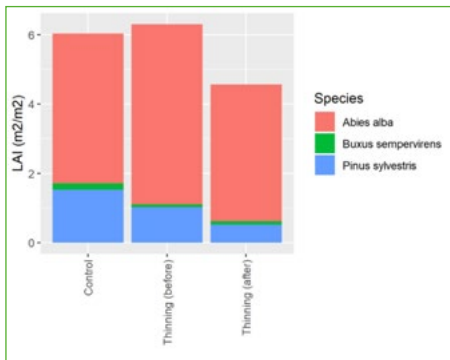
Parcela 1

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Abies alba*

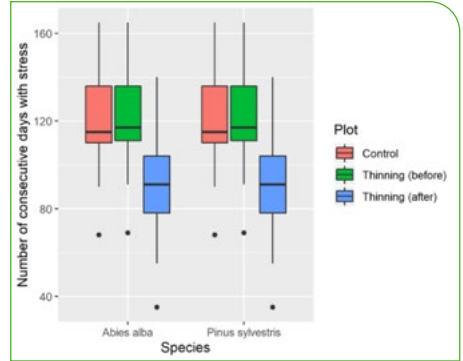
Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la extracción de individuos supuso una reducción del índice de área foliar (LAI) de 7,61 a 5,90 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 613 a 704 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 190 a 187 días/año, en promedio, para *Abies alba*, aunque ambos valores parecen sobreestimados.



Parcela 2

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Abies alba* y *Pinus sylvestris*

Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la extracción de individuos supuso una reducción del índice de área foliar (LAI) de 6,30 a 4,57 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 602 a 705 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 122 a 92 días/año, en promedio, para *Abies alba* y *Pinus sylvestris*.



3.10.2.5 Balance de la intervención silvícola

La intervención realizada en el abetal del Paco de Villanúa consiguió reducir la densidad de árboles para así aliviar la competencia por recursos hídricos. Se redujo la densidad tanto de la especie dominante (Abeto) como de la secundaria (Pino silvestre) manteniendo la densidad de especies secundarias.

Finalmente, la instalación de paneles informativos se valora de manera positiva como actividad de transferencia de información a los visitantes del abetal.

3.11 ENCAMP (ANDORRA)

3.11.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización del rodal de actuación



Límites de la parcela de actuación



Imagen del tipo de masa



Socio: Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra - Institut d'Estudis Andorrans

Emplazamiento de la actuación : Principado de Andorra, Parroquia de Encamp.

Formación forestal: Bosque de pino rojo i pino negro de protección contra los aludes de nieve con sotobosque de boj y enebro,

Superficie del rodal seleccionado: 1 ha.

Propietario/Gestor: Honorable Comú d'Encamp.

Fecha de inicio de la intervención: 2018.

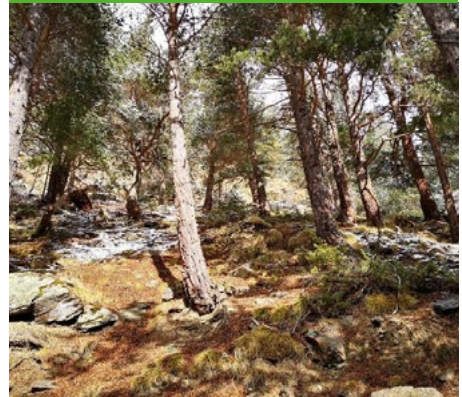
Objetivos generales:

1. Disminuir el riesgo de incendio forestal dentro del bosque y,
2. En caso de ocurrir, disminuir su virulencia y severidad.

Objetivos operativos:

Se ejecutan diversas talas:

1. Tala del sotobosque hasta dejar un recubrimiento arbustivo inferior al 30%.
2. Tala de las ramas de los pinos situadas a una altura inferior a los dos metros.
3. Tala de los arboles dominados, enfermos y/o muertos, para favorecer a los más vigorosos.

Estado del rodal antes del tratamiento**Estado del rodal después del tratamiento****Resultados esperados con la intervención**

- Disminución de la vulnerabilidad del bosque a los incendios de copas, y dificultar que un posible incendio de superficie pueda ascender a las copas de los pinos.
- Mejorar la vitalidad y aumentar la supervivencia de los árboles en caso de incendio forestal.
- Mejorar el conocimiento de la evolución post-tratamiento de las principales especies arbustivas presentes en el bosque.

Descripción detallada del rodal de actuación

Fisiografía: La parcela se localiza en una ladera de fuerte pendiente (más de 50%), orientada al sur (S). La altitud en el centro de la parcela es de 1900 m.

Clima: La parcela se encuentra en una zona de clima subcontinental de tendencia mediterránea, con influencias sub-oceánicas procedentes del noroeste (según el OPCC). Las precipitaciones anuales rondan los 1100 mm y la temperatura media alrededor de los 6°C. Las precipitaciones se concentran, sobre todo durante los meses de mayo, junio, noviembre y diciembre. Las temperaturas oscilan entre los -4°C en enero y los 21°C en julio. Parte de

las precipitaciones (aproximadamente 250 mm) cae en forma de nieve durante el invierno.

Suelo: El suelo es poco profundo, de unos 25-30cm, i es un suelo silíceo tipo ránker, típico de laderas de montaña, proclive a la erosión.

Vegetación: La parcela se localiza en la parroquia de Encamp, más en concreto en la zona del bosque del Rep en el valle de los Cortals de Encamp. El bosque del Rep es un bosque protector contra los aludes de nieve, como muchos bosques del Principados de Andorra (75% del total de la superficie de bosque).

En el año 2000, un incendio forestal quemó unas 14 ha del bosque, y hoy en día aún se pueden ver las consecuencias (foto de los límites de la parcela de actuación). Los bosques de protección contra los aludes de nieve son muy importantes en un territorio montañoso como el Principado de Andorra, ya que tienen un rol importante en la fijación del manto nivoso y en la reducción del desencadenamiento de aludes.

La parcela está compuesta sobre todo de pinos rojos (*Pinus sylvestris*) con algunos pino negro (*Pinus uncinata*) en la parte baja. El sotobosque está compuesto de matorral de montaña característicos de las vertientes sur como son el boj (*Buxus sempervirens*), el enebro (*Juniperus communis*) o la madreSelva (*Lonicera nigra*). En el estrato herbáceo abundan diversas plantas propias de los prados y pastos mesófilos subalpinos como la Pulsatilla alpina, la Valeriana, o la Polygala. La masa forestal de la parcela tiene una estructura irregular, formada por bosquetes homogéneos con tangencia de copas y fracción de cabida cubierta de alrededor del 60%. La edad de los pies mayores es próxima a los 110-120 años.

En el año 2010 se procedió a una caracterización del bosque protector. En base a dicho estudio se concluye que el bosque del Rep presenta una estructura o tipología forestal tipo H – Masa irregular no equilibrada con tendencia a la regularización y con una alta área basimétrica, en la que los pies se distribuyen homogéneamente dentro del rodal. Esta tipología ofrece un nivel de fijación del manto aceptable.

En lo que respecta a la parte del bosque de protección quemada en el año 2000, el bosque está en proceso de recolonización del espacio ya que el incendio generó una alta mortalidad y pérdida del estrato arbóreo. La parcela quemada tiene un bajo grado de protección o fijación del manto nivoso. En este sentido, se ha asumido que la estructura forestal correspondiente o que cabría esperar si no hubiera habido el incendio sería muy similar o prácticamente la misma a la que la existente actualmente en los alrededores de la zona afectada por el incendio, como la parcela que se ha definido para esta actuación.

3.11.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.11.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

Para esta actuación, se han diseñado dos parcelas de inventario de seguimiento: una parcela de actuación y una parcela control, de acuerdo con la homogeneidad del rodal y su pequeña dimensión (1ha). Para cada una de ellas se han determinado las principales variables dasométricas necesarias para caracterizar el rodal y la actuación de gestión a implementar. También se han establecido, en la parcela de actuación, distintas micro parcelas y 3 transectos de 10 metros de largo para la determinación del recubrimiento y vigorosidad del boj.

3.11.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

Se describe el estado inicial del rodal de actuación a partir de los datos tomados en agosto de 2017 en las parcela de actuación. La parcela está formada por una masa de pino rojo con un diámetro medio cuadrático de 32,75 cm (Tabla 1). La estructura de la parcela es irregular y distribuida por bosquetes homogéneos con tangencia de copas y fracción de cabida cubierta de alrededor del 60%. La densidad media de pinos dentro de la parcela es de 512 pies/ha. Se supone que la edad de los pies mayores (con un diámetro >50cm) es próxima a los 110-120 años.

El recubrimiento del boj da un valor del recubrimiento medio de 25,17% y una altura media de 1,09 m. El recubrimiento medio del estrato herbáceo es de 15,58% y el de los musgos de 5,50%.

Tabla 6 Características dasométricas básicas del rodal de actuación antes de la intervención

Variable	<i>Pinus sylvestris</i>
Densidad adultos (pies/ha)	512
Área basimétrica (m ² /ha)	42,10
Altura dominante (m)	15
Altura media (m)	10
Diámetro cuadrático medio (cm)	32,75

3.11.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

A nivel global, en todo el ámbito del rodal de actuación (1ha), se ha realizado un desbroce generalizado del estrato arbustivo, así como una poda en altura del estrato arbóreo. El objetivo del desbroce y de la poda era disminuir la vulnerabilidad al incendio de copas respecto a la estructura forestal inicial, sin alterar el grado de su función protectora ante avalanchas.

Para lograr esto, se ha realizado un desbroce selectivo, eliminando el matorral de altura inferior a 1,3m de altura y dejando un recubrimiento global inferior al 30%. En cuanto a los matorrales con altura superior a 1,3m, se ha realizado una poda de las ramas de su tercio inferior. Los pies de pino rojo se han podado hasta 2,5m de altura, y puntualmente se han derribado, mediante clara por lo bajo, los pies moribundos y/o extremadamente dominados sin posibilidad de desarrollo futuro. Sin embargo, la fracción de cabida cubierta general se ha mantenido por encima del 60%, así como la área basimétrica no ha disminuido de les 30m²/ha. Estos valores límite permitirán asegurar la continuidad de la función protectora contra las avalanchas, pero también deberían limitar el rebrote del matorral heliófilo dado el efecto de regulación lumínica que ejerce el dosel sobre la superficie (especialmente la fracción de cabida cubierta).

Todos los restos generados se han troceado in situ en longitudes inferiores a 0,5m y se han distribuido homogéneamente por el rodal, y muy especialmente aprovechando las zonas de claros y aperturas del dosel.

Ilustraciones de la situación inicial y final del estrato arbustivo



Situación inicial y final dentro del rodal de actuación. Foto izquierda: estructura forestal inicial y estado del estrato arbustivo, generando una vulnerabilidad moderada al fuego de alta intensidad – tipo estructura B7. Foto derecha: situación post tratamiento del estrato arbustivo (derecha), generando una estructura de baja vulnerabilidad al fuego de copas – tipo C10 - después de los tratamientos.

3.11.2.4 Balance de la intervención silvícola

La realización de los tratamientos preventivos, fundamentalmente la reducción del combustible superficial y el incremento de la distancia entre este y la base del dosel, ha permitido lograr una disminución de la vulnerabilidad de la estructura ante los incendios de alta intensidad y especialmente al comportamiento de fuego de copas. En este sentido, inicialmente el bosque del Rep representaba una vulnerabilidad moderada a los incendios de copas, tipología B7 según metodología de Piqué et al. (2011), mientras que la estructura final consigue reducir la vulnerabilidad a baja, correspondiéndose a una tipología C10. La tipología C10 se caracteriza por presentar un recubrimiento del combustible de superficie inferior al 30% y del combustible de escalera inferior al 25%, con una fracción de cabida cubierta del 50 al 70%, y con una distancia entre el combustible superficial y el aéreo inferior a 4m.

La realización de una simulación del comportamiento del fuego pre y post tratamiento, mediante el aplicativo BehavePlus 6.0.0. Este aplicativo genera unos resultados que apuntan en la misma dirección que lo expuesto anteriormente. En este sentido, los resultados de la simulación del escenario inicial muestran cómo, a pesar de no generarse fuegos activos de copas, la estructura, y sobre todo los combustibles de escalera, son capaces de propiciar la aparición de actividad de copas y antorcheo. Esto, junto con la altura de socarramiento, suponen una probabilidad de mortalidad media del estrato arbóreo del 74%. Una vez realizada la actuación, observamos una situación distinta ya que se supone que los restos de los tratamientos ya se han mineralizado parcialmente y se asume un modelo de combustible superficial dominado por acículas, musgos y algo de gramíneas superficiales (modelo 8). En estas condiciones, la actividad de copas de-

saparece, siendo el fuego mayoritariamente de superficie, y la altura de socarramiento disminuye drásticamente respecto el escenario inicial; pasando de 3.3m a 0.1m, con lo que la mortalidad media estimada se sitúa alrededor del 55% de los pies.

Estos resultados destacan una notoria disminución de la vulnerabilidad del bosque protector a los incendios forestales de alta intensidad. Hay que ser conscientes que son resultados de simulaciones, que no son resultados reales, pero cabe esperar que si en realidad ocurre un incendio, el resultado sea muy próximo a los de la simulación.

3.12 VITORIA (ÁLAVA)

3.12.1 Ficha descriptiva del rodal

Localización de los rodales de actuación



Límites del rodal de actuación– Hueto

Socio: HAZI

Emplazamiento de la actuación : Vitoria/Gasteiz, Alava (País Vasco)

Formación forestal: Monte bajo de encina en estado de latizal, con presencia puntual de enebro

Superficie del rodal seleccionado: 0,1 ha

Propietario/Gestor: Concejo de Hueto Abajo

Fecha de inicio de la intervención: 2018

Imagen del tipo de masa

Objetivos generales:

1. Regular la competencia entre los rebrotes de encina por el recurso hídrico y con ello aumentar la vitalidad de la masa.
2. Promover la diversificación del rodal.

Objetivos operativos:

Se ejecuta un tratamiento de resalveo selectivo mixto consistente en:

1. Reducción de la densidad de los rebrotes de roble
2. Desbroce del matorral
3. Desembosque manual y troceado de los rebrotes de encina extraídos para uso energético (leña)

Estado del rodal 1 antes del tratamiento



Estado del rodal 1 después del tratamiento



Límite del rodal 2 de actuación – Gometxa

Socio: HAZI

Emplazamiento de la actuación : Vitoria/Gasteiz, Alava (País Vasco)

Formación forestal: Monte bajo de encina en estado de latizal, con presencia puntual de enebro

Superficie del rodal seleccionado: 0,1 ha

Propietario/Gestor: Concejo de Gometxa

Fecha de inicio de la intervención: 2018

Type de peuplement

Objetivos generales:

1. Regular la competencia entre los rebrotes de roble quejigo por el recurso hídrico y con ello aumentar la vitalidad de la masa.
2. Promover la diversificación del rodal.

Objetivos operativos:

Se ejecuta un tratamiento de resalveo selectivo mixto consistente en:

1. Reducción de la densidad de los rebrotes de roble
2. Desbroce del matorral
3. Desembosque manual y troceado de los rebrotes de roble extraídos para uso energético (leña)

Estado del rodal 2 años antes del tratamiento



Estado del rodal 2 años después del tratamiento



Resultados esperados con la intervención

- Incremento del crecimiento diametral de los rebrotes de encina y roble, mejora de su estado hídrico y de su vitalidad.
- Diversificación composicional de la masa arbórea y del sotobosque
- Disminución de la evapotranspiración del rodal y mejora del balance hídrico con el aumento de la infiltración y de la cantidad de agua azul.

Descripción detallada del rodal de actuación

Topographie : Les deux peuplements se trouvent sur un flanc à pente modérée (10-20%), orienté Nord (N). L'altitude oscille entre 620-690 m.

Fisiografía: Ambos rodales se localizan en una ladera de pendiente moderada (10-20%), orientada al norte (N). La altitud oscila entre los 620-690 m.

Clima: Ambos rodales se localizan en una zona de clima húmedo (según el índice de Thornthwaite), caracterizado por una precipitación y temperatura media de 700 mm y 12°C, respectivamente. La precipitación se concentra, en general, durante los meses de otoño e invierno. Durante el verano, se dan a menudo tormentas convectivas que proveen cantidades de precipitación significativas (una media de en torno a 100 mm).

Suelo: El suelo está formado a partir de rocas carbonatadas (principalmente margas y calizas). Suelo de profundidad escasa de textura arcillosa (rodal 1) y franco-arcillosa (rodal 2).

Vegetación: Ambos rodales se localizan en montes de Utilidad Pública de pueblos situados al oeste del municipio de Vitoria (Álava). Ambos rodales son representativos de grandes masas continuas de encina (*Quercus ilex*) de Sierra de Badaia y de roble quejigo (*Quercus faginea*) de Montes de Vitoria, procedentes de antiguos tratamientos de monte bajo.

Estas masas actualmente han dejado de suministrar madera y leña a los pueblos propietarios desde la década de los 50-60. Se encuentran en proceso de capitalización de existencias maderables, suministrando puntualmente leñas vecinales en las zonas más accesibles. El mal estado inicial de este arbolado, generado por siglos de recepado, supone un estancamiento de su crecimiento, una escasa o nula fructificación y una escasa capacidad de respuesta ante perturbaciones (ataques de agentes bióticos, sequías, nevadas, ...).

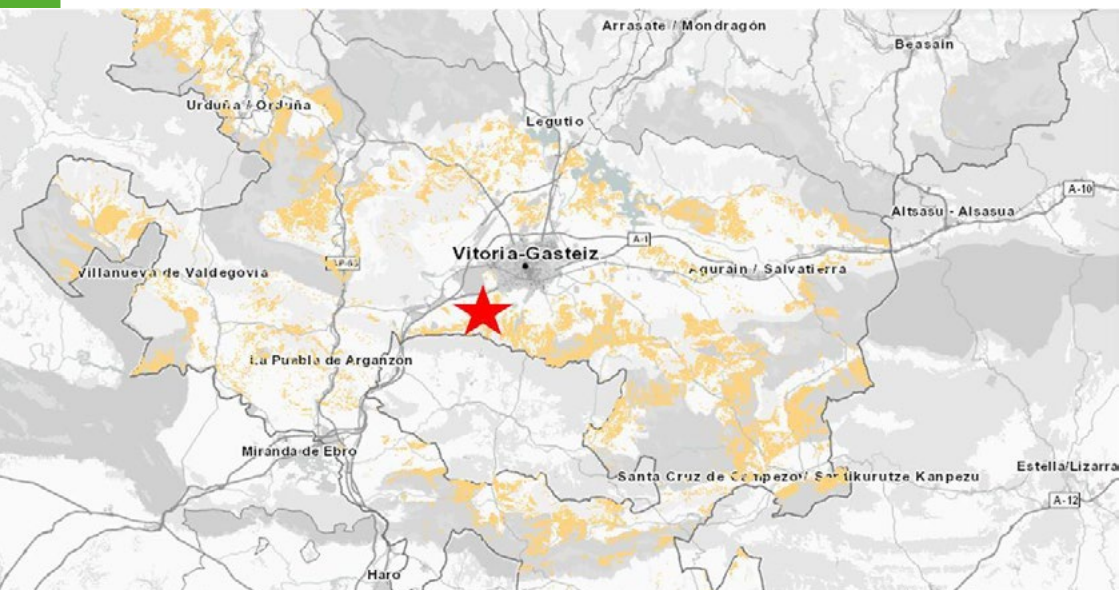
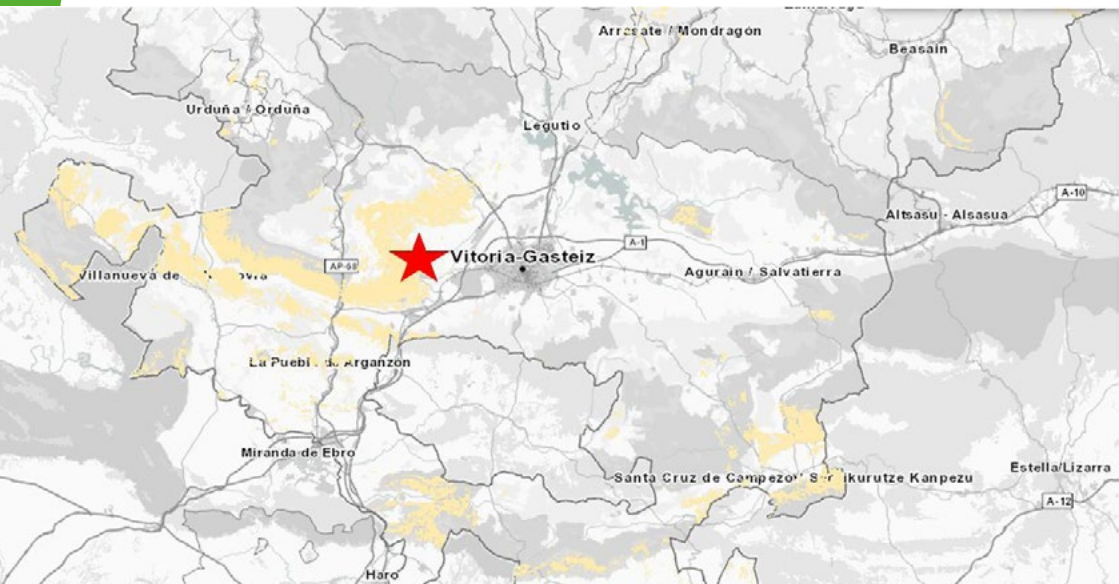
3.12.2 Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación

3.12.2.1 Descripción de las mediciones realizadas

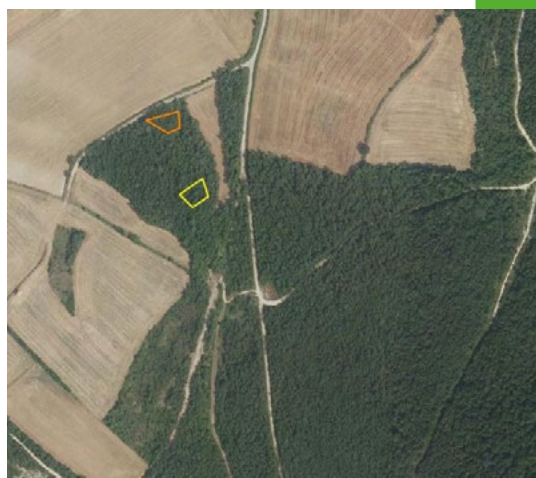
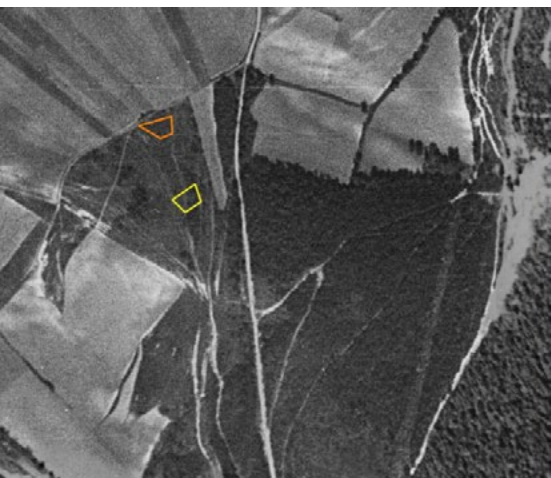
El municipio de Vitoria abarca grandes masas de quercíneas. En concreto, es el municipio con mayor extensión de quejigales del País Vasco y el tercero en cuanto a encinares. Ambos tipos de masas presentan, en general, un bajo crecimiento medio anual en volumen (1-1,5 m³/ha-año) y en altura dominante (10-15 cm/año).

Especie dominante	Superficie (ha)	Volumen medio (m ³ /ha)	Area basim. media (m ² /ha)	Densidad media (pies/ha)
Encinares	2.454	41	21	941
Quejigares	3.425	54	18	637

Partiendo de estas cifras, se han buscado sendas parcelas representativas de encina y roble quejigo y que fueran a ser tratamiento de cortas de resalveo para leñas vecinales en los primeros meses de 2018. Se optó por estas parcelas de Hueto Abajo y de Gometxa, con la precaución de tomar, en ambos casos, sendas parcelas testigos próximas, de la misma extensión y aspecto selvícola, con el fin de poder evaluar los cambios futuros.



Mapa de los encinares (arriba) y quejigares (abajo) alaveses, indicando la localización de los respectivos rodales



Cambios registrados en estas parcelas, según la ortofoto en blanco y negro de 1957 y la reciente ortofoto de 2018. Tanto en las parcelas de Hueto (arriba) como en Gometxa (abajo) se aprecia el paso de un monte desarbolado y adeshado a un bosque denso.

Para la evaluación cuantitativa de las características del tratamiento se realizó un inventario que permitiera comparar el estado pre- y post- intervención, tanto en el subdotal intervenido como en un subdotal control sin intervención. En cada uno de ellos se levantó una parcela de, aproximadamente, 15 x 15 m, en la que se midió, antes y después del tratamiento: el área basimétrica, la especie y diámetro de todos los árboles con $dbh > 5$ cm, la cobertura (%) y altura media de cada especie arbustiva, y la cobertura (%) por grupo biológico de especies herbáceas (gramíneas y no-gramíneas). También se contabilizaron los pies con $dbh < 5$ cm de cada especie diferenciando aquellos de altura > 130 cm y aquellos de altura < 130 cm.

Cambios registrados en la parcela aclarada de Hueto, según la ortofoto de 2017 (antes del tratamiento) y la reciente ortofoto de 2018 (después).



3.12.2.2 Estado inicial del rodal de actuación

Se describe el estado inicial del rodal de actuación a partir de los datos tomados antes de la intervención en las parcelas control y de actuación. Se trata de dos casos de monte bajo claramente dominado por *Quercus* en estado de latizal bajo, con un diámetro medio cuadrático inferior a 12 cm y una alta densidad media (Tabla 1). La presencia de otras especies en el estrato superior es escasa.

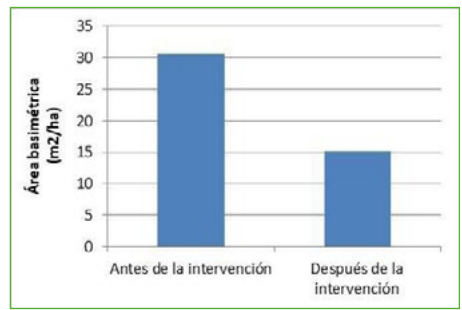
Tabla 7 Características dasométricas básicas de los rodales de actuación antes de la intervención

Variable	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. faginea</i>
Densidad adultos ⁷ (pies/ha)	2.894	3.278
Área basimétrica (m ² /ha)	30,6	36,45
Diámetro cuadrático medio (cm)	11,60	11,90
Densidad juveniles ² d<5 cm (pies/ha)	239	382

3.12.2.3 Caracterización cuantitativa de la intervención

Se describe el efecto de la intervención a partir de los datos tomados antes y después de la misma en la parcela de actuación.

Efectos sobre el estrato arbóreo (dbh > 5 cm). *Quercus ilex* (rodal1).

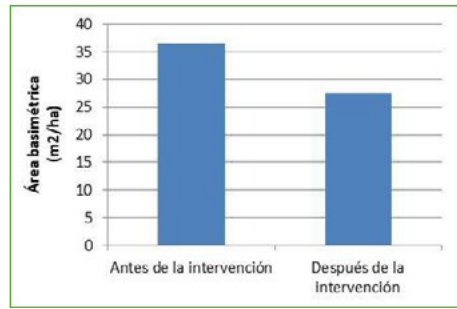
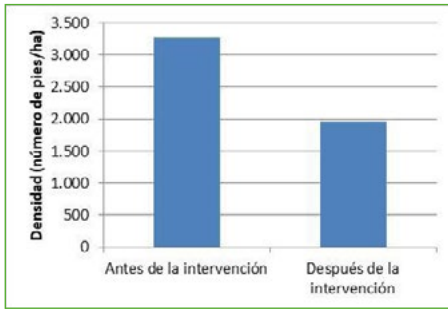


La intervención tuvo un importante efecto sobre el estrato arbóreo, compuesto exclusivamente de *Quercus ilex* en la parcela de seguimiento de la actuación. La densidad de esta especie pasó de 2.894 a 1.180 pies/ha, reduciéndose en un 59,2%. El efecto sobre el área basimétrica fue también notorio, pasando de 30,6 a 15,14 m²/ha, y por tanto reduciéndose en un 50,5%. El diámetro cuadrático medio pasó de 11,6 a 12,5 cm como resultado de la intervención.



7 Individuos adultos: dbh > 5 cm

Efectos sobre el estrato arbóreo (diámetro > 5 cm). *Quercus faginea* (rodal 2).



La intervención tuvo un importante efecto sobre el estrato arbóreo, compuesto exclusivamente de *Quercus faginea* en la parcela de seguimiento de la actuación. La densidad de esta especie pasó de 3.278 a 1.962 pies/ha, reduciéndose en un 40,15%. El efecto sobre el área basimétrica fue también notorio, pasando de 36,45 a 27,58 m²/ha, y por tanto reduciéndose en un 24,33%. El diámetro cuadrático medio pasó de 11,9 a 13,4 cm como resultado de la intervención.

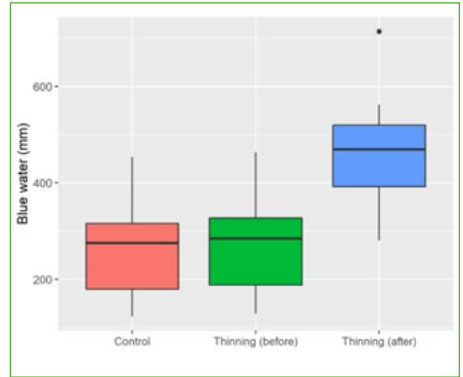
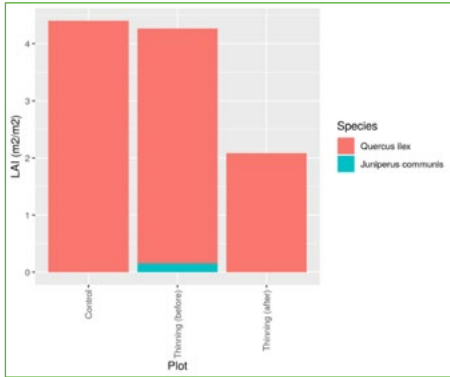


3.12.2.4 Efecto de la intervención en el balance hídrico

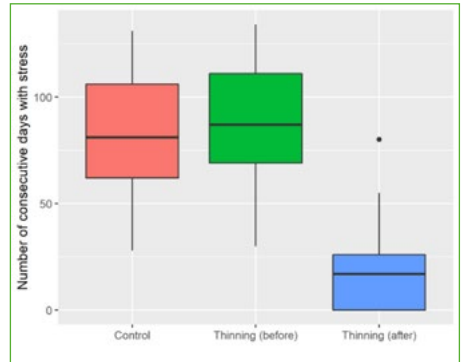
Se presentan a continuación los resultados de un estudio de simulación del balance hídrico realizado mediante el modelo *Medfate*.

Rodal 1 (encinar)

Effets sur le bilan hydrique et le stress dû à la sécheresse pour *Quercus ilex*

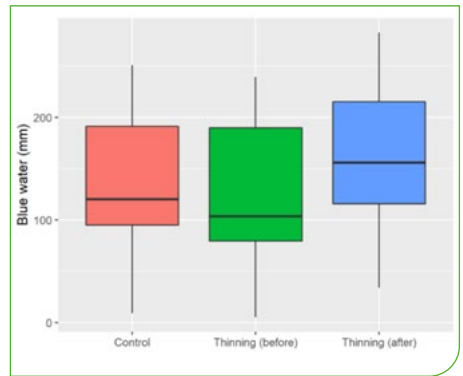
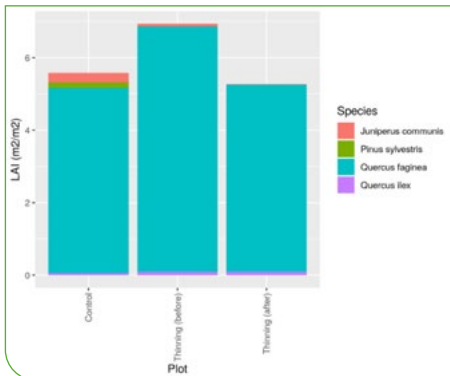


Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 4,21 a 2,07 m²/m². La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 265 a 459 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 88 a 20 días/año, en promedio, para *Quercus ilex*, aunque dicha estimación no incorpora el crecimiento después de la intervención.

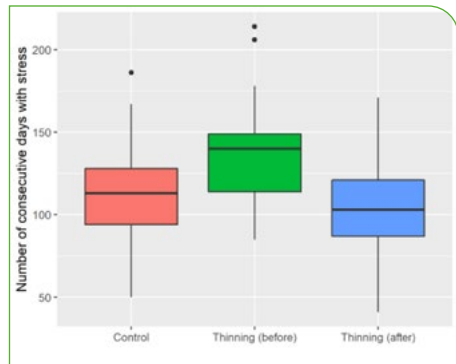


Rodal 2 (quejigar)

Efectos sobre el balance hídrico y el estrés por sequía de *Quercus faginea*



Según las alometrías del modelo de balance hídrico, la intervención supondría una reducción del índice de área foliar (LAI) de 6,85 a 5,11 m²/m², siendo aun muy alto el valor final. La consecuencia sobre el balance hídrico de la parcela predicha por el modelo incluye un incremento del agua exportada de 124 a 166 mm/año en promedio. Por otro lado el modelo predice una reducción de la duración del periodo con estrés por sequía de 137 a 103 días/año, en promedio, para *Quercus faginea*.



3.12.2.5 Balance de la intervención silvícola

La intervención realizada en el rodal tenía por principales objetivos: (i) la regulación de la competencia entre los rebrotes de roble por el recurso hídrico, aumentando de esa manera la vitalidad de la masa, y (ii) el fomento de la diversificación del rodal.

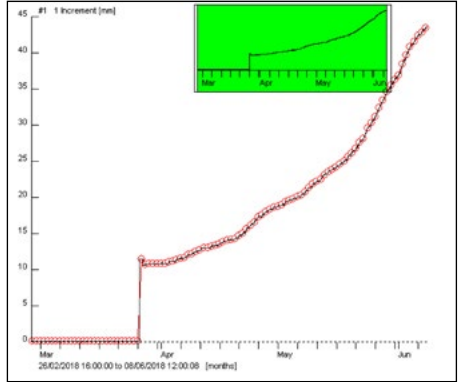
La ejecución del tratamiento de resalveo selectivo mixto consiguió, por una parte, reducir sensiblemente la densidad y por tanto la competencia en el estrato superior. Por otra parte, se redujo de manera más notable la densidad de brotes de encina y roble dominados y sumergidos (inventariados como juveniles), consiguiendo de esta manera una mejora general del vigor del rodal.

La diversificación del rodal también se fomentó mediante el tratamiento. No solo se respetaron todos los individuos con mejor aspecto y vitalidad, sino que se mejoraron las condiciones para su desarrollo a través de la eliminación de la competencia alrededor de cada individuo, incluyendo el desbroce del matorral.

La evaluación futura de estas parcelas se va a seguir, en principio, mediante tres métodos:

a. Mediciones directas del arbolado.

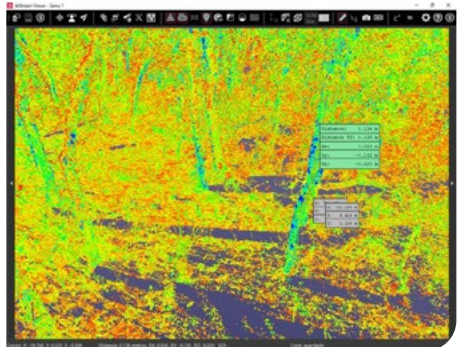
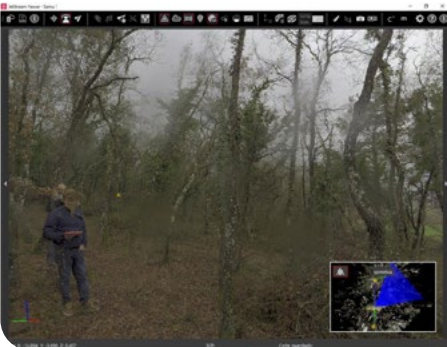
Se han instalado diversos sensores de crecimiento o dendrómetros a la altura del pecho (1,3 m) en árboles representativos de cada parcela y diámetro medio, tanto en las parcelas aclaradas como en las testigos. Su fin es poder evaluar en cualquier momento el crecimiento diametral de esos árboles, que no sólo puede variar en función de la competencia de los árboles vecinos, sino también de la climatología o de la existencia de perturbaciones. Las mediciones puntuales de estos dendrómetros pueden ser correlacionadas con otros sensores automáticos, más exactos y de medición continua a lo largo del año, instalados en una encina y en una secuoya situadas en Arkaute, a pocos kilómetros de estas parcelas.



b. Escaneo 3D del arbolado.

Los láser escáner son herramientas que permiten realizar mediciones de cualquier parte de un arbolado y, confrontando dos escaneos multitemporales, permiten también medir en cualquier parte del árbol su crecimiento o la pérdida de ramas o ápices.

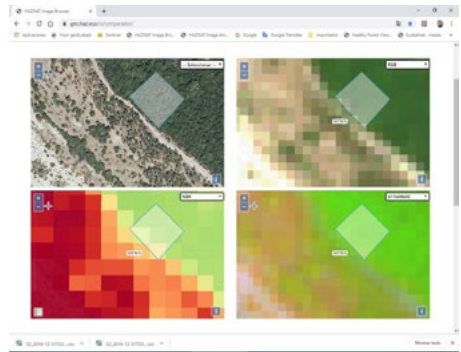
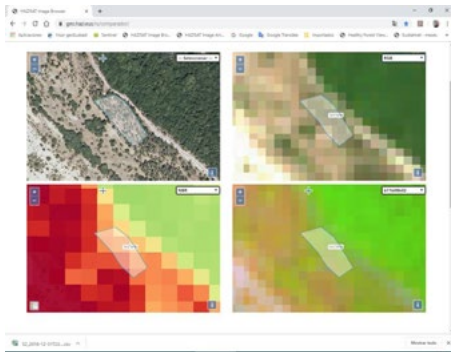
Se ha realizado a principios de 2019 un escaneo de la parcela aclarada del robleal de Gometxa (rodal 2) para poder ir apreciando en el futuro los cambios en la fisonomía de cada uno de esos robles.



c. Teledetección.

Por último, se dispone en HAZI de una serie de herramientas o visores *web* creados en base a imágenes gratuitas procedentes de los satélites Sentinel 2 y Landsat. Estas herramientas permiten, tanto de forma numérica como visual, realizar un seguimiento continuo del estado fitosociario, de la fenología y del vigor de cualquier parcela o arbolado.

- <https://geo.hazi.eus/rs/comparador/> (comparador de datos e imágenes)
- <https://geo.hazi.eus/rs/animations/> (generador de animaciones a partir de imágenes multitemporales)





Variación del índice NDVI (arriba) y NBR (abajo) del rodal 1 según datos de Sentinel 2, marcando en verde la época de realización de la corta de resalveo (febrero 2018)



4 CONCLUSIONES

La comunidad forestal tiene en frente un gran desafío: por un lado, el conocimiento forestal se adquiere generalmente en varias décadas, porque a menudo el ciclo de vida de los árboles es de casi un siglo y, por el otro, el cambio climático puede tener como consecuencia un cambio brusco de medioambiente, requiriendo una reacción tan rápida como eficaz.

Felizmente, frente a este desafío, hay una dinámica real en marcha. Los y las forestales pirenaicos se organizan, investigan, comparten conocimientos y resultados.

El objetivo es empezar a constituir, desde hoy, una « caja de herramientas » lo más operativa posible.

Para ello, es necesario un nivel de conocimientos elevado, en particular en lo que atañe:

- al fenómeno del cambio climático en sí mismo,
- a sus impactos, variables según las especies y regiones y con un nivel de incertidumbre elevado (según CLIMPY, el aumento de las temperaturas máximas oscilaría entre 1,9 y 7,1 °C de aquí a 2100),
- las capacidades adaptativas de las masas, los métodos de adaptación y su eficacia.

El proyecto CANOPEE ha trabajado para aportar unos primeros elementos de respuesta para los dos últimos puntos. La vocación de esta guía es compartir los conocimientos adquiridos en especial en el último punto.

En efecto, mucha de la silvicultura aplicada hoy va a necesitar modificaciones para adaptarse a las nuevas contingencias.

Esta adaptación, en función de los contextos locales, se podrá hacer según distintos gradientes, desde la aplicación de ajustes técnicos (*i.e* intensidad de las claras, modificación de la edad de

aprovechamiento), hasta cambios más radicales en objetivos silvícolas (*i.e* cambio y/o diversificación de las especies/objetivo, introducción de nuevas procedencias).

La presente guía pretende compartir bases técnicas, lo más sólidas posible, con la comunidad forestal para construir una estrategia de adaptación eficaz, a través de actuaciones demostrativas locales que permiten modular unas recomendaciones generales.

Estas respuestas se basan en:

- El establecimiento de rodales demostrativos en los cuales se han aplicado diversos tratamientos de adaptación que se resumen en las fichas anexas;
- el análisis de los impactos de esas acciones en el balance hídrico in situ.

Este conocimiento constituyen una base sólida que convendrá seguir alimentando para permitir la adaptación de los bosques pirenaicos al cambio climático. En efecto, el desafío es considerable, en cuanto que representa posibilidades y situaciones particulares. La comunidad forestal pirenaica está lista ya trabajando para responder al desafío.

5 BIBLIOGRAFÍA

AGEE, J.K. ; SKINNER, C.N. : "Basic principles of forest fuel reduction treatments", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2005.01.034, 211(1-2) : 83-96, 2005.

ALBERTO, FJ., AITKEN, SN., ALIA, R. GONZALEZ-MARTINEZ, S., HÄNNINEN, H., KREMER, A., LEFÈVRE, F., LENORMAND, T., YEAMAN, S., WHETTEN, R., SAVOLAINEN, O., 2013. Potential for Evolutionary Responses to Climate Change-Evidence From Tree Populations. *Global Change Biology* 19, 1645–1661. doi :10.1111/gcb.12181.

ALDEA, J. ; BRAVO, F. ; BRAVO-OVIEDO, A. ; RUIZ-PEINADO, R. ; RODRÍGUEZ, F. ; DEL RÍO, M. : "Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands", [en línea] *Agricultural and Forest Meteorology*, ISSN-01681923, DOI-10.1016/j.agrformet.2017.02.009, , 2017.

ÁLVAREZ, P. ; BARRIO, M. ; CASTEDO, F. ; DÍAZ, R. ; FERNÁNDEZ, J.L. ; MANSILLA, P. ; PÉREZ, R. ; PINTOS, C. ; RIESGO, G. ; RODRÍGUEZ, R. : *Manual de selvicultura del castaño en Galicia*, 2000,

AMEZTEGUI, A. ; CABON, A. ; DE CÁCERES, M. ; COLL, L. : "Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change : A modelling approach", [en línea] *Ecological Modelling*, ISSN-03043800, DOI-10.1016/j.ecolmodel.2017.04.006, 356 : 141-150, julio de 2017. Disponible en : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380016307931> [Consulta : 29 de agosto de 2017].

AMÉZTEGUI, A.; BROTONS, L.; COLL, L. Land-use changes as major drivers of mountain pine (*Pinus uncinata* Ram.) expansion in the Pyrenees. *Global Ecology and biogeography*, 19, pp. 632-641, 2010.

ANDIVIA MUÑOZ, E., NATALINI, F., ALEJANO MONGE, R., FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M., VÁZQUEZ PIQUÉ, J. (2017). Respuesta de dos procedencias de encina a eventos de sequía : una aproxima-

- mación dendroecológica. En : Actas del 7º Congreso Forestal Español. 26-30 junio, Plasencia, Cáceres.
- BADEAU, V. DUPOUEY, JL., CLUZEAU, C., DRAPIER, J., LE BAS, C., 2010. Climate Change and the Biogeography of French Tree Species : First Results and Perspectives ? in Loustau D. (éd.) Forest, Carbon Cycle and Climate Change, Editions Quae, Versailles, 231–252.
- BAIGEST.; COLL L.; CASALS P. (2019) Tractaments de regeneració en boscos de pi roig en un context de canvi climàtic. En : Tusell, J. M.; Beltrán, M. (Coords.). 2019. XXXVI Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. CFC. 86 p.
- BARBEITO, I. ; PARDOS, M. ; CALAMA, R. ; CAÑELLAS, I. : "Effect of stand structure on Stone pine (*Pinus pinea* L.) regeneration dynamics", [en línea] Forestry, DOI-10.1093/forestry/cpn037, 81(5) : 617-629, 2008.
- BELLAMY CH.; BARSOUM N.; COTTRELL J.; WATTS K. (2018) Encouraging biodiversity at múltiple scales in suport of resilient woodlands. Reserch note. Forestry comission. UK.
- BENITO, M.; ALÍA, R.; ROBSON, T. M.; ZABALA, M. A. (2011). Intraspecific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (5), p.766-778.
- BERTRAND, R. LENOIR, J., PIEDALLU, C., RIOFRÍO-DILLON, G., DE RUFFRAY, P., VIDAL, C., PIERRAT, JC., GÉGOUT, JC., 2011. Changes in Plant Community Composition Lag Behind Climate Warming in Lowland Forests. *Nature* 479, 517–520. doi :10.1038/nature10548.
- BRÄUTIGAM, K., VINING, KJ., LAFON-PLACETTE, C. FOSDAL, CG., MIROUZE, M., MARCOS, JG., FLUSCH, S., FRAGA, MF, GUEVARA, MA., ABARCA, D., JOHNSEN, O., MAURY, S., STRAUSS, SH., CAMPBELL, MM., ROHDE, A., DÍAZ-SALA, C., CERVERA, M., 2013. Epigenetic Regulation of Adaptative Respsnes of Forest Tree Species to the Environnement. *Ecology and Evolution* 3(2), 399–415. doi :10.1002/ece3.461.
- BRÉDA, N., BRUNETTE M., 2014. Réduire l'âge d'exploitabilité : une stratégie d'adaptation économiquement acceptable face aux risques induits par la sécheresse ?. *Forêt entreprise* 217.
- BRONCANO, M. ; RIBA, M. ; RETANA, J. : "Seed germination and seedling performance of two Mediterranean tree species, holm oak (shape *Quercus ilex* L.) and Aleppo pine (shape *Pinus halepensis* Mill.) : a multifactor experimental approach", [en línea] *Plant Ecology*, DOI-10.1023/A :1009784215900, 138(1) : 17-26, 1998. Disponible en : <http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1009784215900>
- BROTONS, LL. (2007) Biodiversidad en mosaicos forestales mediterráneos : el papel de la heterogeniedad y del contexto paisajístico. En : Camprodon J. y Plana E. (eds.). *Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal*. Universitat de Barcelona, p.137-157.

- CAMARERO, J.J.; GUTIÉRREZ, E. Response of *Pinus uncinata* recruitment to climate warming and changes in grazing pressure in an isolated population of the Iberian system (NE Spain). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39, pp. 210-217, 2007.
- CAMERON, A.D. : "Importance of early selective thinning in the development of long-term stand stability and improved log quality : A review", [en línea] *Forestry*, ISSN-0015752X, DOI-10.1093/forestry/75.1.25, , 2002.
- CANELLAS, I. : ; DEL RIO, M. : ; ROIG, S. : ; MONTERO, G. : "Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain", *Annals of Forest Science*, 61(3) : 243-250, 2004.
- Carraro, G., Klötzli, F., Walther, GR., Gianoni, P., Mossi, R., 1999. Observed changes in vegetation in relation to climate warming. vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- CARRIÓN, J.S. : ; MUNUERA, M. : ; NAVARRO, C. : ; SÁEZ, F. : "Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico. Viejas falacias y nuevos paradigmas.", *Complutum*, 11 : 115-142, 2000.
- COELLO, J.; BELTRÁN, M.; PIQUÉ, M.; CERVERA, T.; BAIGES, T. (2017). Plantacions (forestals i agroforestals) de noguera, cirerer i freixe. Requeriments i models de gestió. Sèrie : Fitxes tècniques ORGEST. CPF. DARP.
- COELLO, J.; SERRA, S.; NAVARRO, SONIA. (2019) Plantacions d'enriquiment de boscos. En : Tusell, J. M.; Beltrán, M. (Coords.). 2019. XXXVI Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. CFC. 86 p.
- CORTIJO, S., WARDENAAR, R., COLOMÉ-TATCHÉ, M. GILLY, A., ETCHEVERRY, M., LABADIE, K., CAILLIEUX, E., HOSPITAL, F., AURY, JM., WINCKER, P., ROUDIER, F., JANSEN, RC., COLOT, V., JOHANNES, F., 2014. Mapping the epigenetic Basis of Complex Traits. *Science* 343, 1145–1148. doi:10.1126/science.1248127.
- CRECENTE-CAMPO, F. : ; POMMERENING, A. : ; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. : "Impacts of thinning on structure, growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2009.02.009, , 2009.
- DE CÁCERES, M. : ; MARTÍNEZ-VILALTA, J. : ; COLL, L. : ; LLORENS, P. : ; CASALS, P. : ; POYATOS, R. : ; PAUSAS, J.G. : ; BROTONS, L. : "Coupling a water balance model with forest inventory data to predict drought stress : the role of forest structural changes vs. climate changes", [en línea] *Agricultural and Forest Meteorology*, DOI-10.1016/j.agrformet.2015.06.012, 213 : 77-90, 2015. Disponible en : <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168192315001914>
- DE-DIOS-GARCÍA, J. : ; PARDOS, M. : ; CALAMA, R. : "Interannual variability in competitive effects in mixed and monospecific forests of Mediterranean stone pine", [en línea] *Forest Ecology and*

Management, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2015.09.014, 358 : 230-239, diciembre de 2015.

DEL CAMPO, A.D. : ; GONZÁLEZ-SANCHIS, M. : ; GARCÍA-PRATS, A. : ; CEACERO, C.J. : ; LULL, C. : "The impact of adaptive forest management on water fluxes and growth dynamics in a water-limited low-biomass oak coppice", [en línea] Agricultural and Forest Meteorology, ISSN-01681923, DOI-10.1016/j.agrformet.2018.10.016, 264(February 2018) : 266-282, 2019a. Disponible en : <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.016>

DEL CAMPO, A.D. : ; GONZÁLEZ-SANCHIS, M. : ; MOLINA, A.J. : ; GARCÍA-PRATS, A. : ; CEACERO, C.J. : ; BAUTISTA, I. : "Effectiveness of water-oriented thinning in two semiarid forests : The redistribution of increased net rainfall into soil water, drainage and runoff", [en línea] Forest Ecology and Management, ISSN-0378-1127, DOI-10.1016/J.FORECO.2019.02.020, 438 : 163-175, 15 de abril de 2019b. Disponible en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112718323533> [Consulta : 6 de marzo de 2019].

DÍAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X.; TERRADAS, J. Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires. *Ecology*, 83, pp. 2293- 2303, 2002.

FAUSTMANN, M., 1849. Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry (Traduit par Linnard, 1968). Dans : Martin Faustmann and the evolution of discounted cash flow. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, Oxford. pp. 27-55.

GAMFELDT L. ; SNÄLL T. ; BAGCHI R. ; JONSSON M. ; GUSTAFSSON L. ; KJELLANDER P. ; RUIZ-JAEN M. ; FRÖBERG M. ; STENDAHL J. ; PHILIPSON CH. ; MIKUSIŃSKI G. ; ANDERSSON E. ; WESTERLUND B. ; ANDRÉN H. ; MOBERG F. ; MOEN J. ; BENGTTSSON J. (2013) Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4 :1340.

GARBER, S. : ; MAGUIRE, D. : "Stand productivity and development in two mixed-species spacing trials in the central Oregon Cascades", *Forest Science*, 50(1) : 92-105, 2004.

GARCÍA-GÜEMES, C. : ; CALAMA, R. : "La práctica de la selvicultura para la adaptación al cambio climático", edit. M.A. Zavala, Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático : Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España, ISBN-978-84-491-0038-3, pp. 12, Ed. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, Spain, 2015.

GARCIA-RUIZ, J.M. : ; LASANTA, T. : ; RUIZ-FLAÑO, P. : ; ORTIGOSA, L. : ; WHITE, S. : ; GONZALEZ, C. : ; MARTI, C. : ; RUIZFLANO, P. : ; ORTIGOSA, L. : ; WHITE, S. : ; GONZALEZ, C. : ; MARTI, C. : "Land-use changes and sustainable development in mountain areas : A case study in the Spanish Pyrenees", [en línea] *Landscape Ecology*, ISSN-0921-2973, DOI-10.1007/BF02059854, 11(5) : 267-277, 1996.

GRACIA, M. : ; RETANA, J. : ; ROIG, P. : "Mid-term successional patterns after fire of mixed pine-oak forests in NE Spain", [en línea] *Acta Oecologica*, DOI-[http://dx.doi.org/10.1016/S1146-609X\(02\)01169-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1146-609X(02)01169-4), 23(6) : 405-411, 2002.

- GUSTAFSSON L., BAKER S.; BAUHHUS J.; BEESE W.; BRODIE A.; KOUKI J.; LINDENMAYER D.; LÖHMUS A.; MARTÍNEZ PASTUR G.; MESSIER C.; NEYLAND M.; PALIK B.; SVERDRUP-THYGESON A.; VOLNEY W.; WAYNE A.; FRANKLIN J. (2012). Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests : A World Perspective. *BioScience*, Volume 62 (7). 633–645.
- JACTEL, H. ; BRANCO, M. ; GONZALEZ-OLABARRIA, J. ; GRODZKI, W. ; LÅNGSTRÖM, B. ; MOREIRA, F. ; NETHERER, S. ; NICOLL, B. ; ORAZIO, C. ; PIOUS, D. ; SANTOS, H. ; SCHELHAAS, M.J. ; TOJIC, K. ; VODDE, F.: Forest stands management and vulnerability to biotic and abiotic hazards, 2011.
- JACTEL, H. ; NICOLL, B.C. ; BRANCO, M. ; GONZALEZ-OLABARRIA, J.R. ; GRODZKI, W. ; LÅNGSTRÖM, B. ; MOREIRA, F. ; NETHERER, S. ; ORAZIO, C. ; PIOUS, D. ; SANTOS, H. ; SCHELHAAS, M.J. ; TOJIC, K. ; VODDE, F.: "The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage", [en línea] *Annals of Forest Science*, ISSN-1286-4560, DOI-10.1051/forest/2009054, 66(7) : 701-701, enero de 2009.
- KOLLERT W. (2014) EuroCoppice Conference : Innovative management and multifunctional utilization of traditional coppice forests. COST Action FP1301. Florence. 26 feb.
- KREMER, A., RONCE, O., ROBLEDO-ARNUNCIO, J.J. GUILLAUME, F., BOHRER, G., NATHAN, R., BRIDLE, JR., GOMULKIEWICZ, R., KLEIN, EK., RITLAND, K., KUPARINEN, A., GERGER, S., SCHUELER, S., 2012. Long-Distance Gene Flow and Adaptation of Forest Trees to Rapid Climate Change. *Ecology Letters* 15, 378–392. doi :10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x.
- LADIER, J., 2016. Forêts méditerranéennes face au changement climatique : Les actions engagées en forêt publique. *Forêt méditerranéenne*, t. XXXVII, n° 4.
- LARRIEU L. Y GONIN P. (2012) L'Indice de biodiversité potentielle (IBP) : un indicateur composite pour intégrer la diversité taxonomique ordinaire dans la gestion forestière. In : Nivet C., Bonhême I., Peyron JL (Coord.). *Les indicateurs de biodiversité forestière. Synthèse des réflexions issues du programme de recherche «Biodiversité, gestion forestière et politiques publiques»*. Paris, GIP Ecofor-MEDDE, 2012, p. 73-78.
- LASANTA-MARTINEZ, T. ; VICENTE-SERRANO, S.M. ; CUADRAT-PRATS, J.M. : "Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities : a study of the Spanish Central Pyrenees", [en línea] *Applied Geography*, DOI-DOI 10.1016/j.apgeog.2004.11.001, 25(1) : 47-65, 2005.
- LEDO, A. ; CAÑELLAS, I. ; BARBEITO, I. ; GORDO, F.J. ; CALAMA, R. ; GEA-IZQUIERDO, G. : "Species coexistence in a mixed Mediterranean pine forest : Spatio-temporal variability in trade-offs between facilitation and competition", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2014.02.038, 322 : 89-97, marzo de 2014.
- LEFÈVRE, F. Considering evolutionary processes in adaptive forestry January 2014. *Annals of Forest Science* 71:723-739

- LEGAY, M., 2011. Les grandes orientations d'adaptation au changement climatique : point d'étape. forêt méditerranéenne t. XXXII, n° 2.
- LEGAY, M., 2014. Adaptation au changement climatique et gestion forestière. Rapport ONERC au Premier ministre et au Parlement : L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change, 33–64.
- LEGAY, M., MORTIER, F., Office National des Forêts, 2006. La forêt face au changement climatique : adapter la gestion forestière. Collection dossiers forestiers, n°16.
- LENOIR, J., GÉGOUT, JC., MARQUET, PA. DE RUFFRAY, P., BRISSE, H., 2008. A significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science* 320, 1768–1771. doi:10.1126/science.1157704.
- 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. : "Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2009.09.023, , 2010.
- LOOKINGBILL, T.R. ; ZAVALA, M.A. : "Spatial pattern of *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* recruitment in *Pinus halepensis* dominated woodlands", [en línea] *Journal of Vegetation Science*, DOI-10.2307/3246590, 11(4) : 607-612, 2000. Disponible en : <http://dx.doi.org/10.2307/3246590>
- MAIORANO, L., CHEDDADI, R., ZIMMERMANN, NE., PELLISSIER, L., PETITPIERRE, B., POTTIER, J., LABORDE, H., HURDU, BI., PEARMAN, PB., PSOMAS, A., SINGARAYER, JS., BROENNIMANN, P., VITTOZ, P., DUBUIS, A., EDWARDS, ME., BINNEY, HA., GUISAN, A., 2012. Building the niche through time : using 13,000 years of data to predict the effects of climate change on three species in Europe. *Global Ecology and Biogeography*. doi :10.1111/j.1466-8238.2012.00767.x.
- MANSO, R. ; PARDOS, M. ; KEYES, C.R. ; CALAMA, R. : "Modelling the spatio-temporal pattern of primary dispersal in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain)", [en línea] *Ecological Modelling*, ISSN-03043800, DOI-10.1016/j.ecolmodel.2011.11.028, 226 : 11-21, febrero de 2012.
- MARQUÉS, L. ; CAMARERO, J.J. ; GAZOL, A. ; ZAVALA, M.A. : "Drought impacts on tree growth of two pine species along an altitudinal gradient and their use as early-warning signals of potential shifts in tree species distributions", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2016.09.021, 381 : 157-167, diciembre de 2016.
- MARTELL, D.L. *Forest Fire Management*. In : JOHNSON, E.A. (Ed.), *Forest Fires Behaviour and Ecological Effects*. Academic Press, Orlando, USA, pp. 527-575, 2001.

- MARTÍN-ALCÓN S., COLL L., AMEZTEGUI A. (2016) Diversifying sub-Mediterranean pinewoods with oak species in a context of assisted migration : responses to local climate and light environment. *Applied Vegetation Science* 19 : 254-267.
- MARTÍN-ALCÓN S., COLL L., SALEKIN S. (2015) Stand-level drivers of tree-species diversification in Mediterranean pine forests after abandonment of traditional practices. *Forest Ecology and Management* 353 : 107-117.
- MARTÍN-ALCÓN, S. : ; COLL, L. : ; SALEKIN, S. : "Stand-level drivers of tree-species diversification in Mediterranean pine forests after abandonment of traditional practices", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2015.05.022, 353 : 107-117, 2015.
- MARTÍN-ALCÓN, S. : ; COLL, L. : "Unraveling the relative importance of factors driving post-fire regeneration trajectories in non-serotinous *Pinus nigra* forests", [en línea] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2015.11.006, 361, 2016.
- MARTIN-ALCÓN, S.; AMEZTEGUI, A.; COLL, L. (2017). Plantaciones de enriquecimiento de pinares submediterráneos con frondosas rebrotadoras en un contexto de migración asistida. *Actes SECF. Plasencia*. 26-30 juny.
- MARTIN-BENITO, D. : ; DEL RIO, M. : ; HEINRICH, I. : ; HELLE, G. : ; CANELLAS, I. : "Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation", [en línea] *Forest Ecology and Management*, DOI-10.1016/j.foreco.2009.12.001, 259(5) : 967-975, 2010.
- MÁTYÁS C., 2010. Forecasts needed for retreating forests. *Nature* 464, 1271. doi:10.1038/4641271a.
- MÁTYÁS C., BERKI, I., CZÚCZ, B., GÁLOS, B., MÓRICZ, N., RASZTOVITS, E., 2010. Future of beech in Southern Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica & Lingaria Hungarica* 6, 91–110. doi :10.1038/4641271.
- MESSIER C, BAUHHUS J, DOYON F, MAURE F, SOUSA-SILVA R, NOLET P, MINA M, AQUILUÉ N, FORTIN MJ AND PUETTMANN K (2019). The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes. *Forest Ecosystems* 6 :21.
- MESSIER C; PUETTMANN KJ. (2011). Forests as complex adaptive systems : implications for forest management and modelling. *L'Italia Forestale e Montana* : 66 (3) : 249-258.
- MINNICH, R.A. Landscapes, land-use and fire policy : where do large fires come from? In : Moreno J.M. (Ed.), *Large Forest Fires*, Backhuys, Leiden, Netherlands, pp. 133-158, 1998.
- MORENO, J.M. Riesgo de incendios forestales en Evaluación preliminar de los Impactos en España por efecto del cambio climático, Proyecto ECCE, Informe final, pp. 581-616, 2005.

- MUELLER, JM., HELLMANN, JJ., 2008. An assessment of invasion risk from assisted migration. *Conservation Biology* 22(3), 562–567. doi :10.1111/j.1523-1739.2008.00952.x.
- NICOTRA, AB., ATKIN, OK., BONSER, SP. DAVIDSON, AM., FINNEGAN, EJ., MATHESIUS, U., POOT, P., PURUGGANAN, MD., RICHARDS, CL., VALLADARES, F., VAN KLEUNEN, M., 2010. Plant Phenotypic Plasticity in Changing Climate. *Trends in Plant Science* 15, 684–692.
- OPCC. Main climatological regions of the Pyrenees. 2013. Available from : http://www.opcc-ctp.org/index.php?option=com_content&view=article&id=4%3Aregions-climatiques&catid=7%3Ales-pyrenees-le-territoire-daction&Itemid=7&lang=fr
- PAUSAS, J.G. ; LLOVET, J. ; RODRIGO, A. ; VALLEJO, R. : Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review, [en línea] 2008,
- PEÑUELAS, J., BOADA, M., 2003. A global Change-Induces Biome Shift in the Montseny Mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9, 131–140.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology*, 9, pp. 131-140, 2003.
- PERMAN, PB., RANDIN, CF., BROENNIMANN, P., VITTOZ, P., VAN DER KNAAP, WO., ENGLER, R., LE LAY, G., ZIMMERMANN, NE., GUISAN, A., 2008. Prediction of plant species distributions across six millennia. *Ecology Letters* 11, 357–369. doi :10.1111/j.1461-0248.2007.01150.x.
- PETERSON, D. ; JOHNSON, M. ; AGEE, J. ; JAIN, T. ; MCKENCIE, D. ; REINHARD, E. : Forest structure and fire hazard in dry forests of the western United States, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-628. Portland, OR : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2005.
- PEYRON, J-L., 2014. Les apports de l'économie aux choix sylvicoles et d'investissements forestiers. RDV techniques n°45-46.
- PEYRON, J-L, TERREAUX, J-P, CALVET, P., GUO, B. 1998. Principaux critères économiques de gestion des forêts : analyse critique et comparative. *Annales des sciences forestières*, 55 (5), pp.523-551.
- PIEDALLU, C., GÉGOUT, JC., LEBOURGEOIS, F., SEYNAVE, I., 2016. Soil aeration, water deficit, nitrogen availability, acidity and temperature all contribute to shaping tree species distribution in temperate forests. *Journal of Vegetation Science* 27(2), 397–399. doi :10.1111/jvs.12370.
- PIEDALLU, C., GÉGOUT, JC., PEREZ, V., LEBOURGEOIS, F., 2013. Soil water balance performs better than climatic water variables in tree species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* 22, 470–482. doi :10.1111/geb.12012.

- Piqué, M.; Beltrán, M.; Vericat, P.; Cervera, T.; Farriol, R.; Baiges, T. 2011. Models de gestió per als boscos de pi roig (*Pinus sylvestris* L.) : producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie : Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.
- PUERTA-PIÑERO, C. : ; ESPELTA, J.M. : ; SÁNCHEZ-HUMANES, B. : ; RODRIGO, A. : ; COLL, L. : ; BROTONS, L. : "History matters : Previous land use changes determine post-fire vegetation recovery in forested Mediterranean landscapes", [en línia] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2012.05.020, 279 : 121-127, 2012.
- PUETTMANN KJ. (2011) Silvicultural challenges and options in the context of global change : simple fixes and opportunities for new management approaches". *Journal of forestry*, 109 (6) :321-331.
- PUETTMANN, K.J. : ; MESSIER, C. : ; COATES, K.D. : "Managing forests as complex adaptive systems", edit. C Messier, K J Puettmann, y K D Coates, *Managing forests as complex adaptive systems : building resilience to the challenge of global change.*, Ed.The earthscan forest library, NY, 2013.
- QUINE, C. : ; COUTTS, M. : ; GARDINER, B. : ; PYATT, G. : *Forests and wind : Management to minimize damage.*, edit. Forestry Commission Bulletin, 1995,
- REED, W. J., 1984. The effects of the risk of fire on the optimal rotation of a forest. *Journal of Environmental Economics and Management* 11 (2), 180–190.
- RIOU-NIVERT, P., 2014. Adaptation au changement climatique et gestion forestière. Rapport ONERC au Premier ministre et au Parlement : L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change, 77–108.
- RODRIGO, A. : ; RETANA, J. : ; PICÓ, F.X. : "Direct Regeneration Is Not the Only Response of Mediterranean Forests To Large Fires", [en línia] *Ecology*, DOI-10.1890/02-0492, 85(3) : 716-729, 2004. Disponible en : <http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/02-0492>
- ROVELLI, E., 1995. La distribuzione dell'abete (*Abies alba* Mill.) sull'Appennino. *Monti e Boschi* 6, 5–13.
- SÁENZ-ROMERO C., LINDIG-CISNEROS, RA., JOYCE, DG., BEAULIEU, J., ST CLAIR, JB., JAQUISH, BC., 2016. Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(3), 303–323. doi :10.5154/r.rchscfa.2014.10.052.
- SÁNCHEZ-PINILLOS, M. : ; AMEZTEGUI, A. : ; KITZBERGER, T. : ; COLL, L. : "Relative size to resprouters determines post-fire recruitment of non-serotinous pines", [en línia] *Forest Ecology and Management*, ISSN-03781127, DOI-10.1016/j.foreco.2018.07.009, , 2018.

- SANZ-ELORZA, M.; DANA, E.D.; GONZÁLEZ, A.; SOBRINO, E. Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian peninsula as a probable sign of global warming. *Annals of Botany*, 92, pp.273-280, 2003.
- SCHELHAAS, M.-J. ; HENGVELD, G. ; MORIONDO, M. ; REINDS, G.J. ; KUNDZEWICZ, Z.W. ; MAAT, H. ; BINDI, M. : "Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry", [en línea] *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, DOI-10.1007/s11027-010-9243-0, 15(7) : 681-701, 2010.
- SCHWARTZ, MW., HOEKSEMA, JD., GEHRING, CA., JOHNSON, NC., KLIRONOMOS, JN., ABBOTT, LK., PRINGLE, A., 2006. The promise and the potential consequences of the global transport of mycorrhizal fungal inoculum. *Ecology Letters* 9, 501–515. doi :10.1111/j.1461-0248.2006.00910.x.
- SERRADA R. (2011). Apuntes de selvicultura. FUCOVASA, EUTIF, madrid. 502 p.
- SJÖLUND MJ Y JUMP A. (2013) The benefits and hazards of exploiting vegetative regeneration for forest conservation management in a warming world. *Forestry*, 86, 5 : 503-513.
- STE-MARIE, C., NELSON, EA., DABROS, A., BONNEAU, ME., 2011. Assisted migration : Introduction to a multifaceted concept. *The ForesTry chronicle* 87 (6), 724–730.
- STEPHENS SL.; MILLAR CI.; COLLINS BM. (2010). Operational approaches to managing forests of the future in Mediterranean regions within a context of changing climates. *Environmental Research Letters*, 5 : 1-9.
- TACCOEN, A., PIEDALLU, C., SEYNAVE, I., PEREZ, V., GÉGOUT-PETIT, A., NAGELEISEN, LM., BONTEMPS, JD, 2019. Background mortality drivers of European tree species : climate change. in press.
- TINNER, W., COLOMBAROLI, D., HEIRI, O., HENNE, PD., STEINACHER, M., UNTENECKER, J., VESCOVI, E., ALLEN, JM., CARRARO, G., CONEDERA, M., JOOS, F., LOTTER, AF., LUTERBACHER, J., SAMARTIN, S., VALSECCHI, V., 2013. The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecol. Monogr* 83(4), 419–439.
- URBIETA, I.R. ; GARCÍA, L. V. ; ZAVALA, M.A. ; MARAÑÓN, T. : "Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain : Is there a mismatch between regeneration and adult distribution?", [en línea] *Journal of Vegetation Science*, ISSN-11009233, DOI-10.1111/j.1654-1103.2010.01222.x, 22(1) : 18-31, 2011.
- VENNETIER, M., VILA, B., LIANG, ER, GUIBAL, F., RIPERT, C., CHANDIOUX, O., 2007. Impact du changement climatique et de la canicule de 2003 sur la productivité et l'aire de répartition du pin sylvestre et du pin d'Alep en région méditerranéenne. ONF, Rendez-vous techniques, hors-série n°3, 67–73.

VICENTE, E. ; VILAGROSA, A. ; RUIZ-YANETTI, S. ; MANRIQUE-ALBA, À. ; GONZÁLEZ-SANCHÍS, M. ; MOUTAHIR, H. ; CHIRINO, E. ; DEL CAMPO, A. ; BELLOT, J. : "Water Balance of Mediterranean *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. Forests in Semiarid Climates : A Review in A Climate Change Context", [en línea] *Forests*, DOI-10.3390/f9070426, 9(7) : 426, 2018.

VICENTE-SERRANO, S.M. ; LASANTA, T. ; ROMO, A. : "Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the spanish central pyrenees : Role of human management", [en línea] *Environmental Management*, DOI-10.1007/s00267-003-0022-5, 34(6) : 802-818, 2005. Disponible en : [internal-pdf:/2005_Vicente-Serrano.pdf](#)



1 TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN: EL PROYECTO CANOPEE	5
2	BASES TÉCNICAS Y ECOLÓGICAS DE LOS TRATAMIENTOS DE GESTIÓN PARA LA ADAPTACIÓN.....	7
2.1	CLARAS Y CLAREOS.....	7
2.1.1	Aspectos generales	7
2.1.2	Los tratamientos de clara como mecanismo de adaptación	9
2.1.3	El caso particular de las masas mixtas de Pinus y Quercus regeneradas tras incendio en el contexto submediterráneo.....	12
2.2	ADAPTACIÓN DEL DIÁMETRO DE APROVECHAMIENTO	15
2.2.1	¿En qué caso es pertinente la adaptación del diámetro de aprovechamiento?.....	15
2.2.1.1	Caso de masas con poca mezcla de especies y sin posibilidad técnica o financiera de realizar una transformación por plantación ..	15
2.2.2	El principio teórico de la adaptación del diámetro de aprovechamiento en función del riesgo	15
2.2.2.1	Análisis técnico-económico sin tomar en cuenta el factor riesgo..	15
2.2.2.2	Análisis técnico-económico valorando el factor riesgo	17
2.2.3	Las consecuencias prácticas en la elección del diámetro de aprovechamiento en función del riesgo	18
2.2.3.1	Caso particular del monte alto regular	18
2.2.3.2	Caso particular de monte alto irregular.....	19
2.2.3.3	Caso particular del monte bajo.....	20
2.2.4	¿Hacia una necesidad de asociar el diámetro y la edad como estado más favorable para la corta?	20

2.3	ELECCIÓN DE LAS ESPECIES Y DE SUS ORÍGENES EN EL MOMENTO DE LAS PLANTACIONES.....	20
2.3.1	Las bases ecológicas.....	20
2.3.1.1	Migración asistida de las poblaciones.....	21
2.3.1.2	Expansión asistida de la especie.....	21
2.3.1.3	Migración asistida "Larga distancia".....	21
2.3.2	Un método sujeto a debate.....	21
2.3.3	Ejecución de la migración asistida.....	22
2.3.4	El ejemplo del abeto, especie emblemática de los Pirineos.....	23
2.4	REDUCCIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO.....	23
2.4.1	Los bosques de montaña y el riesgo de incendio forestal.....	23
2.4.2	Tratamientos de reducción de la continuidad y la carga de combustible forestal.....	25
2.5	DIVERSIFICACIÓN.....	26
2.5.1	Aspectos generales.....	26
2.5.1.1	Diversificación genética.....	26
2.5.1.2	Diversificación de especies.....	27
2.5.1.3	Diversificación estructural (horizontal).....	27
2.5.2	Tratamientos de diversificación.....	28
2.5.2.1	Promoción de la diversidad (de composición y de estructura vertical) en bosques ya mixtos.....	28
2.5.2.2	Incorporación de nuevas especies en masas poco diversas.....	30
2.5.2.3	Prácticas que favorecen la diversidad y adaptación genética del arbolado.....	32
3	PARCELAS DEMOSTRATIVAS Y RESULTADOS DE LOS TRATAMIENTOS.....	33
3.1	MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS DEMOSTRATIVAS.....	34
3.2	PINÓS (LLEIDA).....	36
3.2.1	Ficha descriptiva del rodal.....	36
3.2.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	38
3.2.2.1	Descripción de las mediciones realizadas (común para todos los rodales intervenidos).....	38
3.2.2.2	Estado inicial del rodal de actuación.....	39
3.2.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	39
3.2.2.4	Efecto de la intervención sobre el balance hídrico.....	40
3.2.2.5	Evaluación final de la intervención.....	41
3.3	BOUCHEVILLE (PYRÉNÉES-ORIENTALES).....	42
3.3.1	Ficha descriptiva del rodal.....	42
3.3.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	44
3.3.2.1	Estado inicial del rodal de actuación.....	44
3.3.2.2	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	45
3.3.2.3	Evaluación final de la intervención.....	46

3.4	ESPEZEL (AUDE).....	47
3.4.1	Ficha descriptiva del rodal.....	47
3.4.1.1	Estado inicial del rodal de actuación.....	49
3.4.1.2	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	50
3.4.1.3	Effet de l'intervention sur le bilan hydrique.....	50
3.4.1.4	Evaluación final de la intervención.....	51
3.5	POBLET (TARRAGONA).....	52
3.5.1	Ficha descriptiva del rodal.....	52
3.5.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	54
3.5.2.1	Descripción de las mediciones realizadas.....	54
3.5.2.2	Estado inicial del rodal de actuación.....	55
3.5.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	56
3.5.2.4	Efecto de la intervención sobre el balance hídrico.....	56
3.5.2.5	Evaluación final de la intervención.....	57
3.6	EZPROGUI (NAVARRA).....	59
3.6.1	Ficha descriptiva del rodal.....	59
3.6.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	61
3.6.2.1	Estado inicial del rodal de actuación.....	61
3.6.2.2	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	62
3.6.2.3	Efecto de la intervención sobre el balance hídrico.....	62
3.6.2.4	Evaluación final de la intervención.....	64
3.7	SAINT LAURENT BRETAGNE (PYRENEES ATLANTIQUES).....	65
3.7.1	Ficha descriptiva del rodal.....	65
3.7.2	p Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	67
3.7.2.1	Descripción de las mediciones realizadas.....	67
3.7.2.2	Estado inicial del rodal de actuación.....	68
3.7.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	69
3.7.2.4	Efecto de la intervención sobre el balance hídrico.....	70
3.8	SAINT LAURENT DE CERDANS (PYRENEES ORIENTALES).....	71
3.8.1	Ficha descriptiva del rodal.....	71
3.8.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	73
3.8.2.1	Descripción de las mediciones realizadas.....	73
3.8.2.2	Estado inicial del rodal de actuación.....	74
3.8.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención.....	74
3.8.2.4	Efecto de la intervención sobre el balance hídrico.....	75
3.8.2.5	Evaluación final de la intervención.....	76
3.9	RIEUCAZÉ (HAUTE-GARONNE).....	77
3.9.1	Ficha descriptiva del rodal.....	77
3.9.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	79
3.9.2.1	Descripción de las mediciones realizadas.....	79
3.9.2.2	Estado inicial del rodal de actuación.....	79

3.9.2.3	Description de l'intervention sylvicole.....	80
3.9.2.4	Efecto de la intervención en el balance hídrico	81
3.9.2.5	Balance de la intervención silvícola.....	81
3.10	VILLANÚA (ARAGÓN).....	82
3.10.1	Ficha descriptiva del rodal	82
3.10.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	84
3.10.2.1	Descripción de las mediciones realizadas	84
3.10.2.2	Estado inicial del rodal de actuación	85
3.10.2.3	Description de l'intervention sylvicole.....	85
3.10.2.4	Efecto de la intervención en el balance hídrico	85
3.10.2.5	Balance de la intervención silvícola.....	87
3.11	ENCAMP (ANDORRA).....	88
3.11.1	Ficha descriptiva del rodal	88
3.11.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	90
3.11.2.1	Descripción de las mediciones realizadas	90
3.11.2.2	Estado inicial del rodal de actuación	91
3.11.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención	91
3.11.2.4	Balance de la intervención silvícola.....	92
3.12	VITORIA (ÁLAVA).....	94
3.12.1	Ficha descriptiva del rodal	94
3.12.2	Descripción y evaluación cuantitativa de la actuación.....	97
3.12.2.1	Descripción de las mediciones realizadas	97
3.12.2.2	Estado inicial del rodal de actuación	100
3.12.2.3	Caracterización cuantitativa de la intervención	101
3.12.2.4	Efecto de la intervención en el balance hídrico	102
3.12.2.5	Balance de la intervención silvícola.....	104
4	CONCLUSIONES.....	109
5	BIBLIOGRAFÍA.....	111
6	TABLA DE CONTENIDO.....	123





SOCIOS



SOCIOS ASOCIADOS



COFINANCIADORES



El proyecto ha sido cofinanciado al 65% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2014-2020).

También cuenta con el apoyo de la Generalitat de Catalunya y de la autofinanciación de los socios.