



9CFE-1584

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



Cerrando el ciclo: 21 años de seguimiento de la regeneración natural de *Pinus pinea* en el sitio de ensayo MUP 43 “Corbejón y Quemados” (Valladolid)

CALAMA SAINZ, R. (1), GORDO, J. (2), MANSO, R. (3), MADRIGAL, G. (1),
MONTERO, G. (4), GARRIGA, E. (1), PARDOS, M. (1)

(1) ICIFOR, INIA-CSIC. Dpto. Dinámica y Gestión Forestal. Ctra A Coruña km 7.5. 28040 Madrid

(2) Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid. C/ Duque de la Victoria 8. Valladolid

(3) Northern Research Station, Roslin, Midlothian, EH25 9SY, UK

(4) SECF, Sociedad Española de Ciencias Forestales

Resumen

La regeneración exitosa de un rodal tras las cortas de regeneración es uno de los elementos clave de la gestión forestal. La regeneración natural es un proceso complejo, formado por distintos subprocesos encadenados (fructificación, dispersión, germinación, predación, establecimiento y supervivencia), que constituyen cuellos de botella. En el presente trabajo se resumen los resultados obtenidos en el seguimiento del sitio de ensayo de regeneración “Corbejón y Quemados”, instalado en 2003. En el sitio de ensayo, compuesto por siete parcelas de 0,48 ha cada una, se comparan dos modelos de cortas de regeneración (Aclareo Sucesivo Uniforme y Corta a Hecho en dos tiempos) y un tratamiento control. Durante estos años se ha realizado un seguimiento sistemático del crecimiento y supervivencia del regenerado instalado, y se han hecho estudios específicos de cada subproceso. Recientemente se ha evaluado el efecto de las cortas aclaratorias sobre el regenerado. El trabajo se completa con una discusión acerca las implicaciones para la gestión derivadas del sitio de ensayo, y con la presentación de los trabajos futuros a desarrollar en el mismo, entre los que se encuentran una cuantificación del regenerado mediante LIDAR, y la ejecución de la corta final y los primeros clareos.

Palabras clave

Aclareo sucesivo uniforme, germinación, dispersión, LIDAR, regenerado establecido

1. Introducción

Uno de los paradigmas fundamentales de la gestión forestal sostenible es garantizar la persistencia del bosque a lo largo del tiempo. Este objetivo general implica que los montes gestionados necesitan ser regenerados de manera exitosa. Esto puede conseguirse bien recurriendo a la plantación, o mediante la aplicación de la silvicultura de regeneración natural, que tienen por objetivo la renovación de la masa aprovechando la dispersión de semilla, emergencia y establecimiento del regenerado que tiene por origen el propio arbolado adulto de la masa a regenerar (PARDOS et al. 2005). La consecución exitosa de la regeneración tras la aplicación de cortas implica una sucesión temporal de distintas fases o subprocesos, que pueden constituir cuellos de botella: producción de semilla en cantidad suficiente en el momento adecuado, dispersión de la semilla a los puntos donde interesa establecer el regenerado, germinación de la semilla, escape de la semilla de la predación por fauna, emergencia y supervivencia de las plantas. Las



cortas de regeneración buscan establecer los tratamientos sobre el arbolado adulto que permitan maximizar la posibilidad de éxito y el establecimiento de un regenerado viable en el ámbito espacial y temporal requerido en el plan de ordenación del monte.

La consecución de la regeneración natural ha sido un tema de preocupación continua para los gestores de los montes españoles desde el comienzo de la aplicación de la silvicultura reglada a mediados del s. XIX (CALAMA et al. 2017). Los pinares de pino piñonero no han sido una excepción a esta problemática. Aunque los textos más clásicos (RUIZ DE LA TORRE Y CEBALLOS, 1979) apuntan a una fácil consecución de la regeneración, la realidad es que ésta se conseguía mediante la aplicación de cortas a hecho por fajas o en huecos de pequeño tamaño, seguidas de siembra artificial (GORDO, 1999). El intento de aplicar cortas más graduales y cercanas a la naturaleza, como sería el caso de las cortas por aclareo sucesivo uniforme o las cortas a hecho en dos tiempos, daba lugar a notables fracasos en la regeneración (GORDO, 1999; MONTERO et al. 2004), que se solventaban bien recurriendo a la siembra, bien buscando una estructura del monte semirreglar o incluso, irregular. Estos fracasos en la regeneración eran mayores en las estaciones más limitantes, con mayor porcentaje de arenas en el suelo, como es el caso de los arenales de la Tierra de pinares Castellana (GORDO et al. 2012).

A comienzos del s. XXI, y en el marco de la colaboración entre el entonces Centro de Investigación Forestal del INIA y el Servicio Territorial de Medio Ambiente se abre una línea de investigación orientada a estudiar la dinámica de la regeneración natural de *Pinus pinea*, los distintos subprocesos implicados, identificar cuellos de botella, y proponer un esquema de cortas de regeneración que permita la regeneración exitosa de los pinares. Fruto de esa colaboración fue la instalación en 2003 del sitio de ensayo objeto del presente trabajo.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo de síntesis es mostrar los trabajos realizados desde el año 2003 en el sitio de ensayo de regeneración natural de *Pinus pinea* instalado por el ICIFOR (INIA-CSIC), en colaboración con el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid, en el MUP43 “Corbejón y Quemados”. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Presentación detallada del sitio de ensayo y de los distintos dispositivos experimentales instalados y mantenidos a lo largo de los 21 años de seguimiento
- Síntesis y exposición conjunta de los resultados obtenidos en el sitio de ensayo
- Implicación que los resultados obtenidos están teniendo en la gestión práctica de los pinares de *Pinus pinea*
- Discusión del futuro del sitio de ensayo

El trabajo se completa con un enlace a un anexo (<https://digital.csic.es/handle/10261/387065>) en el que se incluyen todas las referencias bibliográficas, así como otra información documental, generadas a lo largo de todos estos años en el sitio de ensayo.

3. Metodología

El sitio de ensayo del MUP43 – Corbejón y Quemados: diseño experimental

En el año 2003 se instaló un sitio de ensayo de regeneración natural de *Pinus pinea* en el MUP43 “Corbejón y Quemados”, propiedad del Ayuntamiento de El Portillo. Se seleccionó un rodal puro, formando una masa regular con una edad en torno o superior a 120 años. El índice de calidad de estación se fija en 15-16 m (calidad II, de acuerdo a las curvas de CALAMA et al. 2003). El rodal de intervención ocupa una zona de unas 6 ha (ver Figura 1). La densidad media antes de la corta era de 162 pies.ha⁻¹ (error estándar: 14 pies.ha⁻¹), con un área basimétrica en torno a 18-20 m².ha⁻¹. Las cortas de regeneración se realizaron en los años 2002 y 2003, y los residuos procedentes de las cortas fueron triturados y sus restos incorporados al suelo. En GORDO et al. (2012) se recoge una descripción detallada del sitio de ensayo y los distintos dispositivos experimentales.

En el sitio de ensayo se replantearon 7 parcelas rectangulares 60 x 80 m (0,48 ha), con dos tratamientos de corta de regeneración distintas (3 réplicas) más una parcela testigo (sin cortas). La densidad inicial de las parcelas variaba entre 115-233 pies.ha⁻¹. Alrededor de cada parcela se respetó una banda buffer de 7,5 m hacia el exterior, en la que se aplicó el mismo tratamiento, incrementándose en 2.000 m² su superficie total a aproximadamente 0,7 ha. La separación entre parcelas es de 15 m, excepto la parcela 6, separada 30 m y desplazada respecto al diseño (Figura 1). La parcela 7 (testigo) está situada a 500 metros en la masa sin cortar.

Los tratamientos aplicados fueron:

- Corta por Aclareo Sucesivo Uniforme en tres tiempos (ASU): se aplicó la primera corta diseminatoria de un tratamiento de aclareo sucesivo uniforme, al objeto de reducir la densidad hacia los 70-80 pies.ha⁻¹, y el AB en torno a 12 m².ha⁻¹
- Corta a hecho en dos tiempos (CH2): eliminando en la primera intervención los pies necesarios al objeto de reducir la densidad a 40-50 pies.ha⁻¹, y un AB en torno a 8 m².ha⁻¹



Figura 1. Localización del sitio de ensayo. En color rojo se marcan las zonas de intervención, y en amarillo los límites de las parcelas de seguimiento

En la selección de los pies a eliminar en esta primera intervención se marcaron

pies dominados, con copas defectuosas, síntomas de falta de vigor, etc. buscando además una distribución homogénea en el espacio (Figura 2). En la parcela testigo no se cortó ningún pie.



Figura 2. Aspecto de las parcelas sometidas a los tres tratamientos. Año 2004

Antes de realizar el tratamiento, cada árbol se identificó y numeró, procediendo a medir el diámetro normal (1,3 m) en dos direcciones perpendiculares. Una vez realizada la corta, los pies se marcaron con pintura blanca, tomando las siguientes medidas: coordenadas, diámetro de tocón, medido a 20 cm sobre el suelo en dos direcciones perpendiculares, altura total y altura hasta la base de la copa y 4 radios de copa (dirección radial hacia el centro de la parcela y perpendicular al mismo). En la Tabla 1 se presenta la situación de las parcelas antes y después de la corta.

Tabla 1. Estado de las parcelas en el momento de instalación del experimento (año 2003), tras la ejecución de las cortas



Réplica	Parcela	Tratamiento	Na/c (ha ⁻¹)	N (ha ⁻¹)	AB (m ² ha ⁻¹)	Dg (cm)	H (m)	FCC
1	1	CH2	144	44	7,50	47,4	13,6	19 %
2	2	CH2	115	44	9,20	50,9	15,5	22 %
3	3	CH2	156	48	7,28	43,9	12,6	14 %
3	4	ASU	192	75	11,08	43,4	14,1	31 %
2	5	ASU	233	75	9,70	40,6	12,9	30 %
1	6	ASU	169	75	12,26	45,6	15,8	34 %
	7	CONTROL	155	155	18,80	40,0	13,8	70%

Na/c - densidad antes de la corta. Después de la corta: N - densidad; AB - área basimétrica ; Dg - diámetro medio cuadrático; H - altura media; FCC - fracción cabida cubierta

A comienzos de 2016, se señala una primera corta aclaratoria en las tres parcelas sometidas a ASU (en las que, como se presenta en resultados, el establecimiento de regeneración había sido exitoso), mientras que en las parcelas sometidas a CH2 se realizan unas cortas muy ligeras de policía y liberación de alguno de los escasos regenerados establecidos. En la parcela control, donde no hubo establecimiento exitoso de regenerado, se procede a aplicar la corta diseminatoria del tratamiento ASU aplicado 13 años atrás en el ensayo. En la Tabla 2 se presenta la situación del ensayo tras la corta. Se puede comprobar que tras esta intervención las parcelas sometidas a ASU igualan en densidad y área basimétrica a las inicialmente establecidas como CH2.

Tabla 2. Estado de las parcelas en el momento de ejecución de la primera corta aclaratoria

Réplica	Parcela	Tratamiento	Na/c (ha ⁻¹)	Nd/c (ha ⁻¹)	ABa/c (m ² ha ⁻¹)	ABd/c (m ² ha ⁻¹)	Dg d/c (cm)
1	1	CH2	42	38	9,53	8,59	54,0
2	2	CH2	44	42	11,76	10,48	55,2
3	3	CH2	46	42	9,34	8,30	50,3
3	4	ASU	73	42	13,61	7,90	49,1
2	5	ASU	75	38	12,78	6,72	47,8
1	6	ASU	75	48	15,31	10,02	51,6
	7	CONTROL	146	75	19,99	13,15	47,2

Donde Na/c y Nd/c - densidad antes y después de la corta; ABa/c y ABd/c - área basimétrica antes y después de la corta; Dgd/c - diámetro medio cuadrático después de la corta

Dispositivos experimentales instalados en el sitio de ensayo

Dispositivo 1. Subparcelas de seguimiento de emergencia, establecimiento y crecimiento del regenerado

El objetivo de este dispositivo es estudiar el patrón espacial y temporal de emergencia del regenerado, así como la supervivencia y desarrollo del mismo durante los primeros años. Se plantea identificar las posibles variables propias del árbol, masa y de tipo ecológico-climático que influyan en el establecimiento, supervivencia y crecimiento del regenerado: sombreado, cobertura del suelo, etc. A tal efecto, y tras la aplicación de las cortas, se procedió a instalar de forma

sistemática 20 subparcelas de muestreo de 3 x 3 metros (9 m²), señaladas en el terreno mediante estacas pintadas y numeradas (Figura 3). Su distribución sistemática permite un análisis e interpolación espacial con covariables del medio y del estrato superior.

En el momento de instalación del dispositivo, en otoño de 2003, en las subparcelas se eliminó el escaso regenerado preexistente (la mayor parte correspondiente a la cohorte de 2002). A partir de enero de 2004, y hasta 2014, con periodicidad semestral o anual, se identifica en cada una de las subparcelas el nuevo regenerado de *Pinus pinea* emergido. Las plántulas correspondientes a una misma cohorte (periodo y año de regeneración) se marcan mediante una varilla de madera de color determinado (Figura 4). Las plantas incorporadas quedan posicionadas en 9 cuadrantes de 1 m² dentro de la subparcela. En los sucesivos inventarios, además del regenerado incorporado, se cuentan, se localizan y se mide la altura de las plántulas supervivientes de inventarios anteriores, procediendo entonces a su marcaje definitivo. En el año 2014 se procedió a ampliar la red, incorporando 12 subparcelas más en cada parcela. En estas subparcelas se procedió a medir, posicionar y marcar el regenerado establecido, asignándole la cohorte más probable de acuerdo a su dimensión. Al añadir estas subparcelas pudimos ampliar la superficie de muestreo hasta el 6%, añadiendo además individuos de la cohorte de 2002.

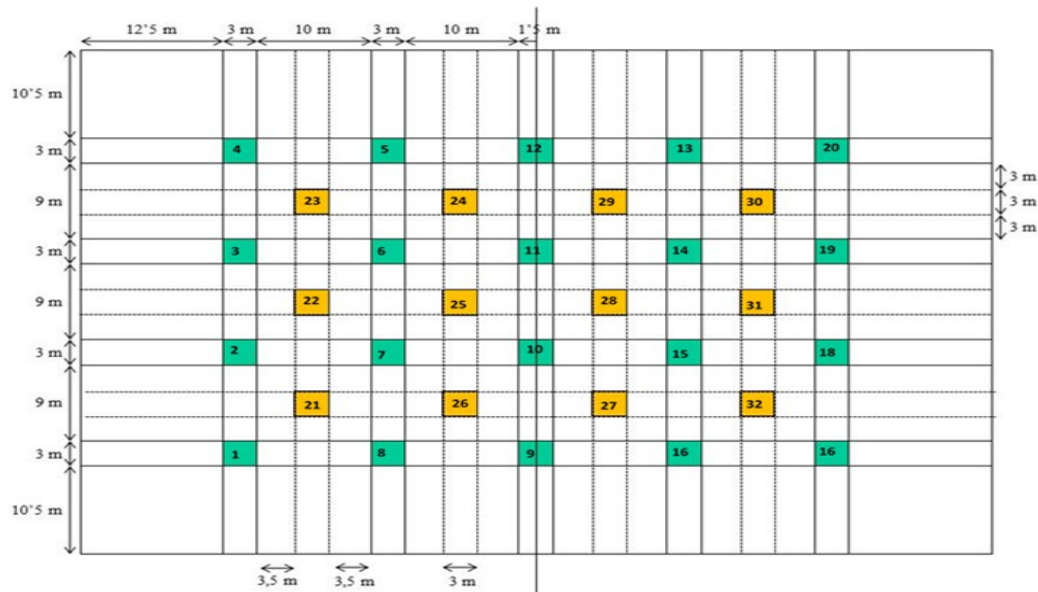


Figura 3. Disposición de las subparcelas de seguimiento dentro de cada parcela experimental

A partir de 2015, y coincidiendo con el marcaje y posterior realización de la primera corta aclaratoria, se dejó de medir el regenerado del año emergido, procediendo únicamente a realizar el seguimiento anual de supervivencia y crecimiento en altura del regenerado establecido previamente. Este seguimiento se mantiene en la actualidad, habiéndose realizado el último inventario en noviembre de 2024.



Figura 4. Plántula recién emergida (invierno 2005), y conteo del regenerado emergido en febrero de 2007

Dispositivo 2. Seguimiento de la producción y dispersión primaria de semilla

El primer subproceso implicado en el éxito de la regeneración natural es la producción de semilla en número suficiente, así como su dispersión al suelo. El estudio de la producción de fruto y semilla de *Pinus pinea* no se limitó al sitio de ensayo, sino que se extiende por una red de más de 140 parcelas instaladas en 1996 por el INIA en colaboración con el S.T. de Medio Ambiente de Valladolid, abarcando montes públicos a lo largo de toda la provincia. En estas parcelas, con periodicidad anual, se recoge, cuenta, clasifica y pesa la piña en cinco pies.

En el sitio de ensayo se instaló un dispositivo orientado al estudio del patrón espacial y temporal de dispersión primaria del piñón de *Pinus pinea*, y su modelización al objeto de predecir la probabilidad de presencia de piñón. Para ello, en cada una de las parcelas del sitio de ensayo se instalaron 10 trampas cuya finalidad es la captura tanto de la semilla dispersada como del desfronde (acículas, ramillas, etc.) procedente de los árboles. Las trampas (Figura 5), están fabricadas en tejido de arpillera, tienen una superficie de recepción de 0,25 m² (intensidad de muestreo 0,5 ‰), situándose la boca de las mismas a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo. Las trampas se instalaron de forma sistemática, situándose a 1 m del vértice sur-este de las 10 subparcelas impares dentro de cada parcela, llevando cada trampa una numeración que facilita su posterior identificación.

Las trampas de recogida de semilla quedaron instaladas en abril de 2005. Desde esa fecha y hasta abril de 2011 (seis años de seguimiento), se vaciaban con una periodicidad mensual, guardándose el material en bolsas individualizadas para cada trampa. Estas bolsas se trasladan a laboratorio, donde se procede al secado del contenido, conteo, pesaje y clasificación en las siguientes categorías: acículas, flores masculinas y/o femeninas, semillas (piñón completo o cáscara), y otros.



Figura 5. Imagen donde se aprecia una trampa de recogida de semilla, una jaula de germinación, las estacas de marcaje de una subparcela y un sensor de temperatura y humedad ambiente

Dispositivo 3. Germinación

Una vez que el piñón cae al suelo, el siguiente subproceso implicado es la germinación del mismo. Para ello, se instaló un experimento al objeto de estudiar el patrón espacial y temporal de germinación, su relación con factores climáticos (variabilidad estacional e interanual en las tasas de germinación) y ambientales (efecto de los niveles de luz y tipos de cobertura del suelo), y modelizar la probabilidad de germinación bajo unas condiciones determinadas

Para ello en las parcelas 3 y 4 del sitio de ensayo principal se definieron tres niveles de luz, en función de su separación respecto del tronco de los árboles ($0R - 0,25R$; $0,75R-1,25R$; $>2R$, donde R representa el radio de la copa) y dos condiciones de cobertura de suelo (empradizado, suelo desnudo), definiendo un ensayo factorial 3×2 con un mínimo de tres réplicas de unidad experimental por parcela, lo que hace un total de 18 unidades experimentales por parcela. La unidad experimental consiste en una jaula de $40 \times 40 \times 15$ cm de malla termosoldada y luz $0,7 \times 0,7$ cm, fijada al suelo mediante piquetas metálicas (Figura 5). En julio de cada año, coincidiendo con las fechas de máxima dispersión natural, se siembran en cada una de las jaulas 50 piñones, procedentes de lotes del año de viabilidad germinativa conocida recogidos en rodales cercanos.

Las jaulas de germinación controlada quedaron instaladas en julio de 2006, procediéndose a realizar la primera siembra de piñón. Tras la siembra estival se controlan con periodicidad quincenal el número de piñones germinados (con longitud de radícula superior a 0,2 cm). El seguimiento se realiza a lo largo de todo el año (julio a junio), recogiendo al final del mismo los piñones no germinados y volviendo a resembrar. El dispositivo se mantuvo hasta el año 2011, completando cinco años de seguimiento.

Dispositivo 4. Predación post-dispersión y dispersión secundaria

La fauna silvestre juega un doble papel en el proceso, como predadora de



semilla, pero también como potencial agente de dispersión. Se instalaron varios dispositivos que tenían como objetivo: (1) la identificación de las principales especies que predan sobre el piñón de *Pinus pinea* y (2) el estudio de la variabilidad espacial y temporal en la tasa de predación, (3) modelización de la probabilidad de predación de piñones, (4) identificación del papel de las diferentes especies como agentes de dispersión secundaria, estudiando las distancias efectivas de dispersión secundaria, así como el porcentaje de piñón dispersado, almacenado y olvidado. Aunque en el estudio se identificaron distintas especies, el esfuerzo se centró en el papel de los roedores, en especial el ratón de campo.

El ensayo de seguimiento de predación postdispersión por roedores consistió en el marcaje de 16 puntos de ubicación de semilla por parcela (50 piñones/punto), localizados en cuatro de las parcelas. Los puntos se seleccionaron en 4 niveles de cercanía a fustes y tocones (fuentes de semilla y refugios de fauna), con 4 réplicas. Para evitar interferencias con otros potenciales predadores (córvidos), se colocó sobre cada punto de semillas una jaula de malla termosoldada (40 x 40 x 15 cm) de luz suficiente para la exclusión de estas aves (3 x 3 cm). El primer aporte de piñón se realizó en enero de 2009, realizándose un conteo mensual de piñón remanente, reponiendo las semillas predadas. Asimismo, se instalaron cámaras de fototrampeo en distintos puntos donde se realizaba un aporte de piñón accesible a toda la fauna, al objeto de identificar los principales agentes de consumo o dispersión. Estas cámaras también se descargaban mensualmente.

Para el estudio de la dispersión secundaria se plantearon dos ensayos distintos. Por una parte se procedió al marcaje individualizado mediante etiqueta de piñones, que posteriormente eran ubicados en distintas localizaciones en grupos de 20. Los piñones eran seguidos en una radio de 20 m transcurridas 1, 2 y 4 semanas, anotando el estado del piñón encontrado (no tocado, comido, movido, movido-comido, enterrado y enterrado-comido) y rumbo y distancia con respecto a su posición inicial. El segundo ensayo consistió en el marcaje con rotulador de parte de los piñones repuestos mensualmente en el dispositivo de predación (600 piñones por mes), y la instalación de 12 nidales artificiales en distintos puntos en el entorno de las jaulas de predación. Mensualmente se evaluaba el contenido y estado de los piñones localizados llevados por los ratones hasta los nidales artificiales: conteo, identificación de jaula de origen y estado (comido / no comido). Tanto el seguimiento de la predación postdispersión como los ensayos de dispersión secundaria se mantuvieron desde el año 2009 hasta 2011.

Dispositivo 5. Identificación del nicho fisiológico óptimo de regenerado

El objetivo de este dispositivo era realizar un seguimiento del estado fisiológico del regenerado de distintas clases de edad (regenerado del año, regenerado de 2 años, regenerado > 2 años con altura inferior a 50 cm, regenerado con altura superior a 50 cm), al objeto de identificar situaciones de estrés hídrico, modelizar la tasa de asimilación neta e identificar aquellas condiciones de vegetación óptimas desde el punto de vista fisiológico. El estado fisiológico de cada planta se caracterizó a partir de las siguientes mediciones:

- Potencial hídrico al amanecer y al mediodía (medidos en cámara de Scholander)
- Fluorescencia de la clorofila: PSII – Fv/Fm (fluorímetro Hansatech)
- Intercambio gaseoso: tasa de fotosíntesis A neta y conductancia estomática g (IRGA)
- Contenido de clorofilas



Las mediciones se realizaron ocho veces al año, sobre 48 plantas, entre 2007 y 2009. En cada momento de medición se consignaba también supervivencia y altura de la planta, así como la temperatura del aire, la humedad edáfica y la radiación incidente.

4. Resultados

Resultado 1. Efecto del tratamiento sobre la emergencia inicial, supervivencia y establecimiento del regenerado

A lo largo del periodo de seguimiento del regenerado emergido (regenerado del año) entre 2004 y 2014, realizado en las 140 subparcelas originales del diseño, se han contabilizado un total de 8830 nuevas plántulas, lo que supone una densidad de plántulas emergidas de 7 plántulas.m⁻² (Tabla 3). La distribución entre tratamientos apunta que no hay diferencias significativas (p-valor = 0,8534) entre los tratamientos CH2 (8,34 plántulas.m⁻², error estándar: 1,99 plántulas.m⁻²) y ASU (7,87 plántulas.m⁻², error estándar: 1,91 plántulas.m⁻²), mientras que ambos tratamientos muestran diferencia significativa (p-valor < 0,05) con el control (0,34 plántulas.m⁻², error estándar: 0,73 plántulas.m⁻²).

Al analizar cómo se distribuyen las plántulas emergidas entre subparcelas y posiciones observamos que en el 98% de subparcelas de 9 m² (59 de 60) del tratamiento ASU, y en el 100 % de las subparcelas de 9 m² del CH2 ha emergido al menos una plántula durante el periodo de estudio, cifra que se reduce al 40% en el tratamiento control (8 de 20 subparcelas). A nivel de posición de 1 m², en el tratamiento CH2 y ASU se observa que aproximadamente el 65,9% (CH2) y 64,7% (ASU) de las posiciones aparece al menos una plántula durante el periodo de estudio, cifra que se reduce al 40% en el caso de las parcelas control.

Tabla 3. Número media de plántulas emergidas.m-2 a lo largo del periodo 2004-2014; número de plantas establecidas. m⁻² (supervivientes a comienzo de 2015); % de supervivencia (establecidas/emergidas); número de subparcelas donde no ha habido emergencia entre 2004 y 2014 (cero Emerg); número de subparcelas donde no hay regenerado establecido a comienzo de 2015 (Cero Superv)



Tratamiento	Parcela	Emergidas m ²	Establecidas m ²	% supervivencia	Cero Emerg	Cero Superv
CH2	1	8,74	0,17	1,43%	0	17
CH2	2	7,78	0,04	1,55%	0	16
CH2	3	8,50	0,07	0,63%	0	18
Total CH2		8,34	0,09	1,20%	0	51
ASU	4	6,27	0,34	6,02%	0	13
ASU	5	9,77	1,61	12,13%	0	9
ASU	6	7,56	0,12	0,60%	1	16
Total ASU		7,87	0,69	6,34%	1	38
CONTROL	7	0,34	0,00	0,00%	13	20
Total general		7,00	0,33	3,54%	14	109

La Figura 6 muestra la distribución de frecuencias de densidad de regenerado emergido, pudiendo observarse cómo en el tratamiento control más del 85% de las subparcelas tienen una densidad de regenerado emergido inferior a 0,5 plántulas.m⁻² mientras que, en los otros dos tratamientos, aunque esa clase es también la más frecuente, hay una distribución más uniforme del regenerado, con subparcelas con densidades superiores a 50 plántulas.m⁻².

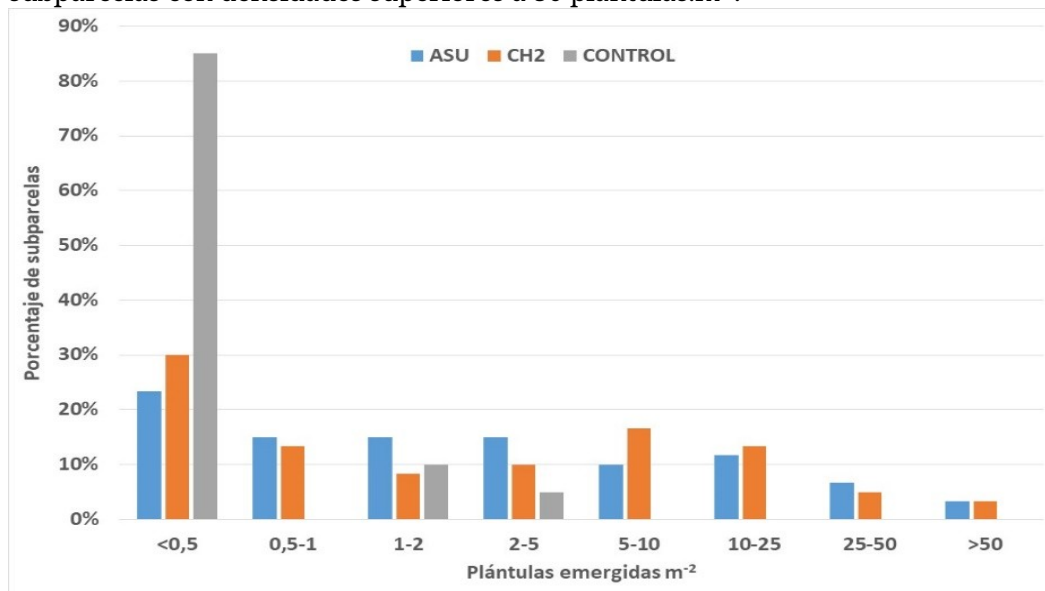


Figura 6. Histograma de frecuencias del número de plántulas emergidas por subparcela según tratamiento

Centrándonos en los tratamientos ASU y CH2, se observa que el factor que más influye para determinar la probabilidad de emergencia de una plántula en una localización dada, es su posición respecto a la copa del pie más cercano. El 75% de las posiciones en las que hay emergencia de regenerado se localizan bajo la copa, y el 90% a una distancia máxima del fuste de 1,5 radios de copa. La emergencia de regenerado en posiciones alejadas 2 radios de copa del fuste es meramente anecdótica. Además, en las posiciones bajo copa donde se ha localizado regenerado, la densidad del mismo es superior a 20 plántulas.m⁻², mientras que en las escasas posiciones alejadas más de 2 radios de copa del fuste donde aparece regenerado, la densidad es inferior a 2 plántulas.m⁻². La Figura 7 muestra cómo la emergencia del regenerado se consigue principalmente bajo las copas.

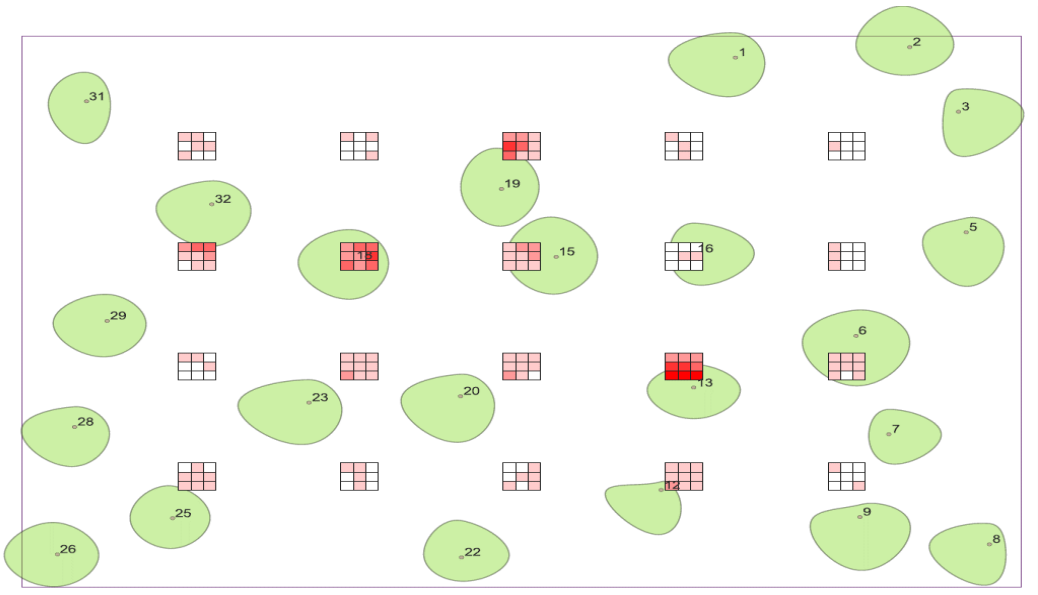


Figura 7. Localización del regenerado emergido entre 2004-2014 en las subparcelas de la parcela 1. Colores más intensos indican más regenerado

Pese a las escasas diferencias observadas en el patrón espacial de emergencia del regenerado entre los dos tratamientos de corta (excluido el control), sí que se observa un marcado patrón de variabilidad interanual en el patrón temporal de emergencia. De los 11 años evaluados (2004-2014), donde se han contabilizado un total de 7 plántulas.m⁻² emergidas, casi el 97% de la emergencia (6,79 plántulas.m⁻²) se produjo en los años 2007 (4,63 plántulas.m⁻²) y 2012 (2,16 plántulas.m⁻²), siendo en el resto de años la emergencia inferior a 0,1 plántulas.m⁻² (Tabla 4).

La emergencia inicial no implica un establecimiento exitoso de regenerado. De las 8830 plántulas emergidas contabilizadas entre 2004 y 2014 en las 140 subparcelas de 9 m², a comienzos del 2015 únicamente habían sobrevivido 421, lo que supone un 4,77%. La supervivencia no ha sido homogénea entre las distintas cohortes, puesto que la mayor parte de las plantas supervivientes (401 de 421) se corresponden con la cohorte de 2007, que fue la más numerosa (5833 plántulas), lo que implica una tasa de supervivencia de esa cohorte del 6,87%. Por el contrario, de las 2722 plántulas contadas en la cohorte de 2012, únicamente 10 habían sobrevivido en 2015 (0,36%). En cuanto a la tasa de supervivencia se observan diferencias significativas (p-valor = 0,0062) entre los tratamientos. En las parcelas sometidas al tratamiento CH2, con un promedio de emergencia de 8,34 plántulas.m⁻², la tasa de supervivencia es del 1,2%, mientras que en las parcelas del tratamiento ASU, donde la emergencia fue ligeramente inferior (7,87 plántulas.m⁻²) el promedio la tasa de supervivencia es del 6,3%, con un máximo de tasa de supervivencia en la parcela 5 del 12,1%. Por último, en la parcela control no se observa ninguna planta superviviente de entre las emergidas en 2004-2014.

Tabla 4. Patrón anual de emergencia de regenerado y plantas establecidas en 2015 según cohortes

Cohorte	Emergidas	Plántulas/m ²	Establecidas en 2015	Plantas/m ²
---------	-----------	--------------------------	----------------------	------------------------

2004	1	0,001	0	0
2005	42	0,033	0	0
2006	37	0,029	0	0
2007	5833	4,629	401	0,318
2008	34	0,027	3	0,002
2009	8	0,006	0	0,000
2010	37	0,029	2	0,002
2011	108	0,086	1	0,001
2012	2722	2,160	10	0,008
2013	5	0,004	4	0,003
2014	15	0,012	3	0,002
TOTAL	8830	7,017	421	0,334

La ampliación del ensayo llevada a cabo en 2015, donde se pasa de 20 a 32 subparcelas en las parcelas 1-6, permite realizar una estimación completa del regenerado establecido entre 2003 y 2015 en función del tratamiento. Se observa que en las parcelas sometidas a ASU el número de plantas establecidas es de 0,59 plantas.m⁻², siendo únicamente 0,07 plantas.m⁻² las establecidas en el tratamiento CH2, y ninguna en el control, siendo las diferencias entre tratamientos estadísticamente significativas (p-valor = 0,01). En la Figura 8 se observa que en las tres parcelas del tratamiento ASU se supera el umbral de 2000 plantas. ha⁻¹ (0,2 plantas.m⁻²), con un máximo de 12000 plantas.ha⁻¹ en la parcela 5. En las parcelas CH2 únicamente en la parcela 1 se superan las 1000 plantas establecidas.ha⁻¹. Por último, la distribución espacial del regenerado establecido no es uniforme (Tabla 3), puesto que en las parcelas ASU sometidas a ASU sólo se encuentra regenerado establecido en 44% de las subparcelas de 9 m², cifra que cae hasta el 17% en el caso de las parcelas sometidas a CH2.

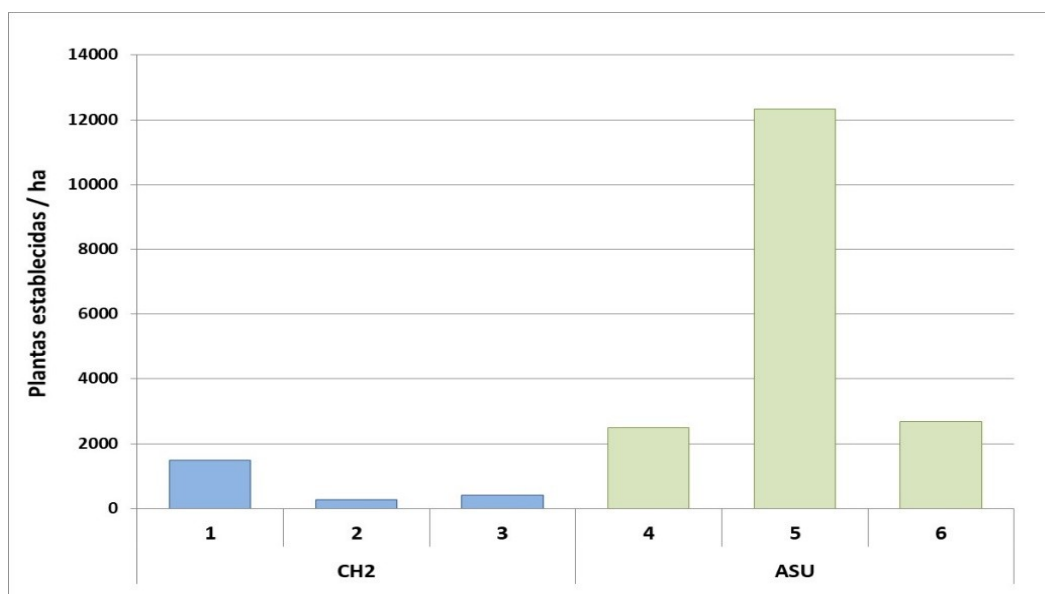


Figura 8. Número de plantas de regenerado establecidas por hectárea en las distintas parcelas

A partir del seguimiento del regenerado emergido, superviviente y finalmente establecido, entre 2004 y 2015, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- No existen diferencias significativas entre tratamiento ASU y CH2 en la emergencia inicial del regenerado, sí existiendo entre estos tratamientos y el control.
- Más del 90% del regenerado emergido se localiza bajo la copa, o separado del área de proyección de la copa una distancia máxima equivalente a 0,5 radios de copa (Figura 9)
- Se observa un marcado patrón interanual en la emergencia de regenerado. De las 11 campañas estudiadas (2004 – 2014) únicamente en dos de ellas (2007 y 2012) se aprecia emergencia significativa, contabilizando entre ambos años más del 95% del total de la emergencia.
- Independientemente del tratamiento se observan bajas tasas de supervivencia entre el regenerado emergido, que son inferiores al 10% en casi todas las parcelas estudiadas. Existe un efecto significativo del tratamiento sobre la supervivencia, siendo ésta en las parcelas sometidas a ASU cinco veces superior a la observada en CH2 (6,3% frente a 1,2%). No se observan supervivencia en la parcela control.
- Se observa que transcurridos 12 años desde la corta, en las parcelas sometidas a ASU se ha conseguido una regeneración establecida superior a las 2000 plantas.ha⁻¹, pudiendo considerarse que ha habido un establecimiento exitoso. Por el contrario, en ninguna de las parcelas sometidas a CH2 se alcanza este



umbral. *Figura 9. Establecimiento del regenerado de la cohorte de 2007 bajo las copas. Imágenes correspondientes a 2009 y 2015 (durante el marcaje de la corta aclaratoria)*

El análisis del resto de dispositivos nos permite explicar el patrón espacial y temporal de emergencia y supervivencia observados en el seguimiento de la red de subparcelas.

Resultado 2. Dispersión primaria de semilla

El primer posible cuello de botella en la regeneración está relacionado con si al suelo llega cantidad suficiente de semilla todos los años y si esta semilla se distribuye uniformemente en el espacio. El análisis de los dispositivos de seguimiento de producción de fruto y dispersión primaria ha sido tratado en detalle en CALAMA et al. (2016) y MANSO et al. (2012a).

Fijándonos en el total de piñón que alcanza el suelo, en los 6 años de seguimiento del ensayo de dispersión primaria (entre 1 mayo de 2005 a 30 abril de 2011), se contabiliza en las trampas un total de 753 piñones, lo que equivale a más de 51 piñones.m⁻² (8,6 piñones.m⁻².año⁻¹), o más de 500.000 piñones.ha⁻¹, cantidad que en el caso de distribuirse homogéneamente en el espacio y en el tiempo se considera suficiente. Sin embargo, es necesario aproximar este análisis desde una perspectiva espacio-temporal.

Centrándonos en la dimensión temporal, el primer resultado se refiere al patrón intra-anual de la lluvia de semilla, que se observa que comienza con la apertura de las piñas, entre junio y julio (cuando la temperatura media mensual supera los 18-20°C). La dispersión no se produce en un único evento sino que se mantiene durante el verano, identificándose habitualmente un segundo pico de dispersión a lo largo del otoño y mínimos en invierno y comienzo de la primavera.

Desde una perspectiva interanual, existen diferencias significativas entre años, con valores por debajo de 0,5 piñones.m⁻².año⁻¹ en las campañas 2005-2006 o 2008-2009, hasta los 15,9 piñones.m⁻² de la campaña 2006-2007 o los más de 27 piñones.m⁻² de la 2007-2008. Esta variabilidad temporal en la lluvia de semilla se relaciona de manera altamente significativa y positiva ($r = 0,99$, p-valor < 0,01) con la producción de piña observada en el territorio (Figura 10). De esta observación podemos inferir que durante el periodo de seguimiento de la emergencia inicial 2004-2014, al menos esperaríamos cuatro años con lluvia de semilla muy por encima de la media (2006, 2007, 2011 y 2012), dos cercanos a la media (2010 y 2013) y el resto de años por debajo de la media. A partir de esta relación podemos inferir el índice de limitación por fuente de semilla, que indica el porcentaje de posiciones que no dispondrían de semilla en el caso de que ésta se distribuyera

uniformemente, y que sería en torno o inferior al 1% en los cuatro años considerados, entre el 10 – 30% en 2010 y 2013, y más del 50% el resto de años (con máximos cercanos al 90% de posiciones sin recibir semilla). Esto implica que, de los 11 años de estudio, en cuatro no ha habido limitación por cantidad de semilla recibida y en dos la limitación no ha sido severa.

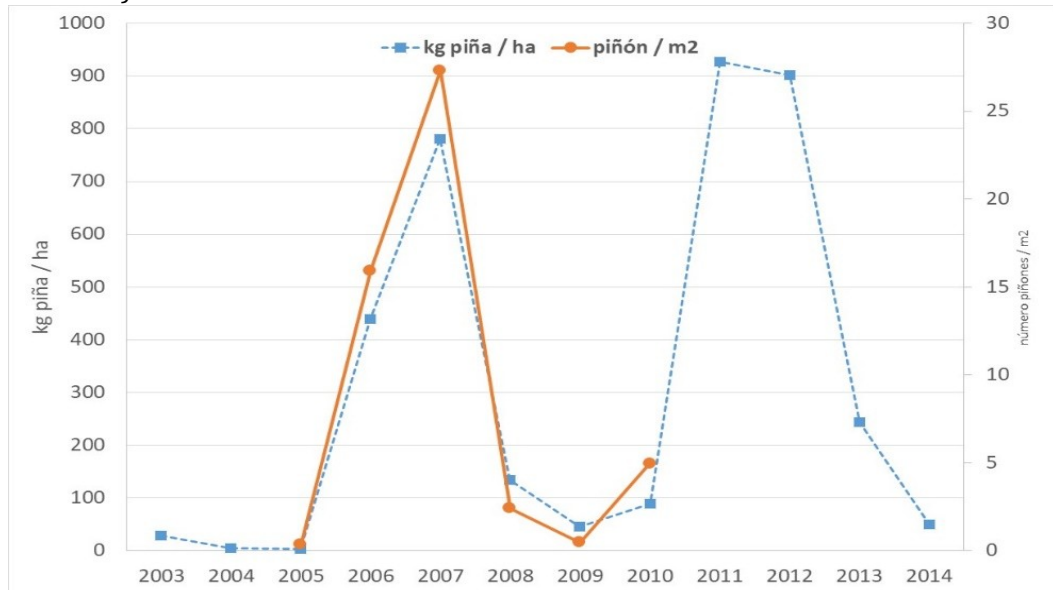


Figura 10. Relación entre la producción anual de piña (kg por hectárea) observada en el MUP43 (2003 – 2014) y la lluvia de piñón detectada en el experimento de dispersión (2005-2010)

En cuanto a la distribución espacial, en más del 38% de las trampas no se ha capturado ni un piñón a lo largo del periodo de estudio, cifra que alcanza el 46% en las parcelas CH2, y el 30% en las ASU. La causa principal para esta irregular distribución es que más del 90% del piñón que llega al suelo lo hace bajo la copa o, como máximo, alejado 1,2 radios de copa del fuste (ver CALAMA et al. 2015a), dispersándose menos del 1% del piñón a una distancia del fuste mayor de dos radios de copa. Esta concentración del piñón bajo las copas implica que muy poca semilla va a llegar a los huecos, si estos son de gran tamaño. En ese sentido, MANSO et al. (2012a, 2012b) observan que si el área basimétrica tras la corta diseminatoria se sitúa por debajo de $8 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (valor habitual en cortas a hecho en dos tiempos fuertes), el valor del índice de limitación por dispersión DL, definido como el porcentaje de superficie a la que realmente no llega semilla, se sitúa en torno al 0,6, lo que implica que a más del 60% de la superficie no llegan piñones. El valor de este índice disminuye a 0,3 con áreas basimétricas entre $10\text{-}12 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (propias del tratamiento en aclareo sucesivo uniforme) y se sitúa en 0,1 cuando el área basimétrica es mayor a $20 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (testigos).

A partir de los datos de dispersión, MANSO et al. (2012a) desarrollan un modelo para la probabilidad de ocupación de un punto dado en el espacio en función de la producción de semilla esperada por los árboles más cercanos y la distancia a los mismos. Este modelo se acopla con el modelo de producción de piña de árbol individual de CALAMA et al. (2016), donde se identifica el marcado componente climático de la vecería de la especie.

El estudio de la dispersión primaria del piñón de *Pinus pinea* arroja como resultado inicial el que la cantidad de semilla producida puede ser un factor limitante algunos años, pero que considerando un periodo de tiempo suficiente

(superior a 10 años) la cantidad de semilla total producida es suficiente. Un segundo resultado muy destacable es que el patrón temporal de emergencia no se corresponde exactamente con el patrón temporal de producción de fruto y dispersión de semilla, puesto que en dos años con cosecha abundante (2007 y 2012) no se observa emergencia prácticamente al año siguiente, lo que no sucede en los otros dos años de cosecha abundante (2006 y 2011). En cuanto al patrón espacial de la dispersión y lluvia de semilla, la concentración de piñón bajo la copa implica que, en masas muy abiertas, con áreas basimétricas por debajo de $7\text{-}8\text{ m}^2\text{ha}^{-1}$, o tras la aplicación de cortas muy intensas que provoquen la creación de grandes huecos, va a existir una importante limitación por dispersión a la llegada de semilla al suelo, pudiendo observarse que a más del 60% de los puntos no llega semilla.

Resultado 3. Germinación

Los resultados del seguimiento durante cinco años (2006-2007 a 2010-2011) del ensayo de germinación revelan la existencia de un marcado patrón temporal, que condiciona tanto las diferencias en tasa de germinación entre años, así como los distintos patrones interanuales y estacionales de ocurrencia de la germinación. El primer resultado obtenido (CALAMA et al. 2012a) es que la germinación puede ocurrir en dos periodos del año, otoño y primavera. La semilla dispersada a partir del mes de junio (como vimos en el apartado anterior) no va a germinar hasta los meses de otoño, pasando el verano sobre el suelo. En caso de que no se produjese esa germinación otoñal, en invierno no se observa germinación, pudiendo retrasarse la misma hasta la primavera.

En cuanto al patrón interanual (Figura 11), en la campaña 2006-2007, se produce una germinación superior al 90%, en otoño en su totalidad. En la campaña siguiente la tasa anual de germinación cae al 43%, siendo la germinación otoñal inferior al 10% y produciéndose la mayor parte de la germinación durante la primavera. La tercera campaña (2008-2009) marca un mínimo, con una tasa total del 8%. Las dos últimas campañas presentan un patrón similar, con tasas totales entre 70-80%, con la mayor parte de la germinación concentrada en los meses de otoño.

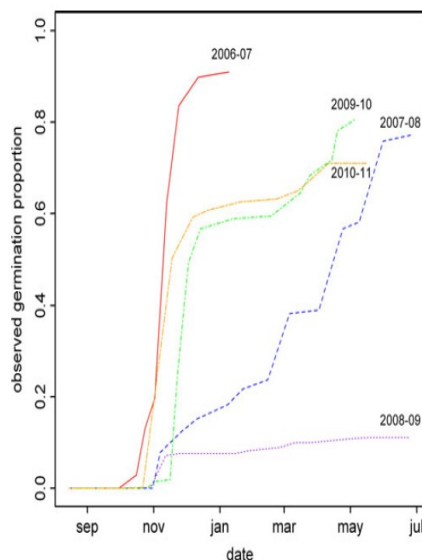


Figura 11. Patrón temporal de germinación

Los trabajos de MANSO et al. (2013a, 2013b) identifican un control térmico sobre la germinación, que se ve restringida a aquellos periodos en los que la temperatura



máxima diaria se sitúa entre 12 y 16 °C, y en los que hay periodos libres de heladas superiores a 10 días. Estas restrictivas condiciones térmicas se producen habitualmente en la Meseta Norte en los meses centrales del otoño (mediados de octubre a mediados de noviembre) y de la primavera (abril y mayo), condicionadas siempre a la ocurrencia de cierta cantidad de precipitación. Esta dependencia de las condiciones climatológicas explica la no ocurrencia de germinación en los otoños fríos de 2007 y 2008 (con temperaturas medias de las máximas por debajo de 12 ° C en comparación con los más de 14 °C de media de las máximas observadas en 2006 y 2009), ni la ocurrencia de regenerado en la primavera fría y seca de 2009. Asimismo, en los citados trabajos se observa un efecto positivo de la cobertura y sombra del arbolado adulto sobre la germinación de las semillas, apuntando a que en posiciones a plena luz la germinación se vería casi reducida a cero, y que en tratamientos de corta a hecho en dos tiempos muy fuertes (reduciendo la densidad a 25 pies.ha⁻¹) la tasa de germinación podría ser en torno al 20% inferior a la observada en tratamientos de regeneración menos intensivos.

El estudio de la germinación nos demuestra que este subproceso puede ser limitante para la regeneración de *Pinus pinea*, puesto que la ocurrencia de otoños secos y fríos implica ausencia de germinación durante esta estación, quedando la semilla expuesta a la predación (ver sección siguiente) sin posibilidad de germinación hasta la primavera siguiente. Por otra parte, se observa que a plena exposición la tasa de germinación disminuye, por lo que este factor, unido a la muy poca semilla dispersada en los huecos, puede contribuir al patrón de aglomeración del regenerado emergente bajo las copas de los pinos.

Resultado 4. Predación y dispersión secundaria

Una vez que el piñón ha sido dispersado y se localiza en el suelo, se encuentra expuesto a la acción de los posibles agentes predadores, que a su vez pueden actuar como potenciales dispersores. . El estudio de la predación y dispersión secundaria del piñón de *Pinus pinea* ha sido abordado con detalle en MANSO et al. (2014a).

El estudio de fototrampeo (Figura 12) ha permitido identificar como principal predador del piñón al ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), responsable de más del 80% de los visionados de captura de piñón, seguido del rabilargo (*Cyanopica cyanus ssp. cooki*), responsable del 16% de las visualizaciones, y de la corneja (*Corvus corone*) responsable del 3% de visualizaciones (aunque en este caso hay que indicar que por su tamaño es capaz de tomar muchos piñones en una sola visita). Este patrón tiene una marcada diferencia estacional, siendo el ratón el responsable del 100% de capturas en los meses de invierno, meses en los que además se concentra la mayor tasa de predación. Por el contrario, en los meses de verano se observa la menor tasa de predación total, así como la menor tasa de daño por ratón de campo.

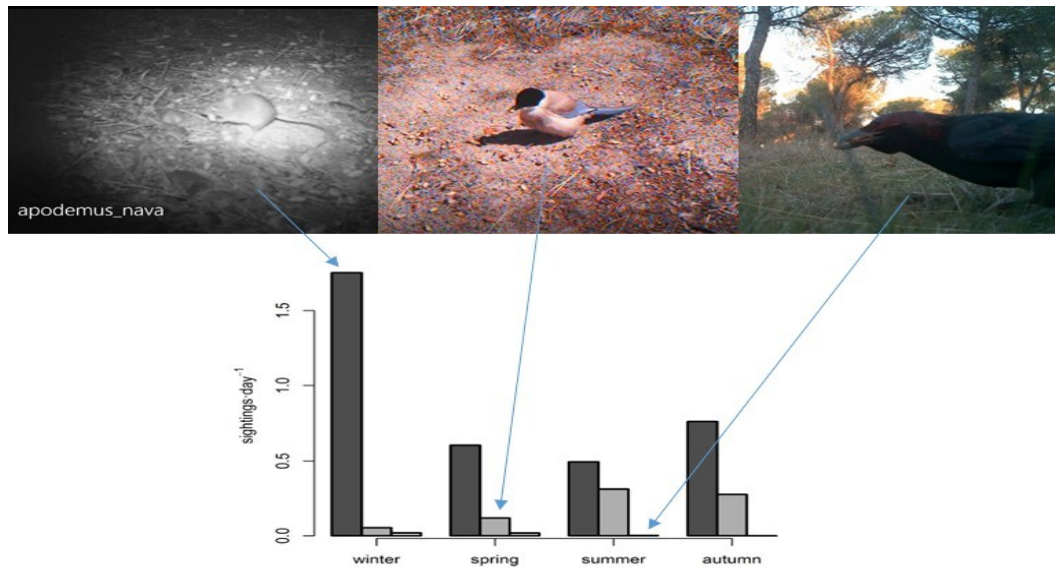


Figura 12. Captura de fototrampeo de los tres principales predadores, y contribución de cada uno de ellos a la tasa de predación estacional

Centrándonos en el principal predador, el ratón de campo, se demostró que la probabilidad de que ocurra la predación descende en los meses de mayor sequía y en los años de mayor producción de fruto. Este último resultado apunta a que la vecería de la especie, aun siendo de origen climático, confirma la hipótesis de saciación por la que la ocurrencia de años de gran cosecha permite que algunas semillas escapen a la predación. Desde el punto de vista espacial, la predación por el ratón de campo se concentra en la cercanía de troncos y tocones, posibles refugios para el ratón. En los años de estudio (marzo 2009 – marzo 2011) se observa que en los meses invernales la tasa de predación puede alcanzar el 100%, implicando el consumo total del piñón mientras que, en los meses de verano y comienzo del otoño, esta tasa de predación se sitúa entre el 20 – 50% del piñón disponible.

Una parte del piñón consumido por el ratón puede no ser predado, sino trasladado a otros puntos. El estudio de dispersión secundaria llevado a cabo en el invierno 2009-2010 demuestra que en la primera semana entre el 70-90% del piñón es consumido, la mayor parte *in-situ*, y el resto en un entorno de 3 m del punto de exposición. Transcurridas dos semanas se observa que menos del 5% ha sido enterrada o movida a refugios. En el estudio de los nidales artificiales se comprobó que la práctica totalidad de los piñones almacenados por roedores en esos nidales era predado durante el primer mes. Todos estos resultados apuntan a un papel muy minoritario del ratón de campo en la dispersión secundaria.

Durante los meses de verano la tasa de consumo (total y por parte del ratón de campo) disminuyen, pudiendo sobrevivir durante este periodo en torno a la mitad del piñón dispersado al final de la primavera. Este comportamiento estacional de la predación por parte del piñón (relacionado con una menor actividad y una mayor disponibilidad de otros recursos) permite que una cantidad de piñón llegue al otoño y si las condiciones climáticas son favorables pueda germinar y dar lugar a una nueva cohorte. Sin embargo, si las condiciones otoñales no son favorables, el piñón que permanece en el suelo durante todo el invierno tiene una muy alta probabilidad de ser predado, no disponiendo entonces de piñón para la germinación de primavera. Este patrón puede explicar el hecho de que tras

excelente campaña de dispersión de 2007-2008 (la mejor de los años de estudio de dispersión de semilla) no se haya producido un fenómeno de emergencia apreciable.

Otro importante resultado del estudio es el papel que los córvidos pueden desempeñar en la predación y dispersión secundaria del piñón. Estas aves, responsables de aproximadamente el 20% de remoción de la semilla, no consumen habitualmente *in situ* el piñón, sino que son capaces de realizar desplazamientos a largas distancias. Quedaría pendiente por tanto el estudio del potencial papel dispersor por parte de este grupo.

Resultado 5. Condicionantes para la supervivencia inicial del regenerado: nicho fisiológico óptimo

El estudio de la emergencia inicial del regenerado (Resultado 1) apunta a una elevada tasa de mortalidad en las primeras fases, que se cifra en un 93,1% en la cohorte de emergencia más exitosa (2007) y en más del 99,5% en la segunda cohorte más exitosa (2012). Para el resto de cohortes, que en conjunto supone en torno al 3% del regenerado emergido, la tasa de mortalidad se sitúa en el 96,3%, variando entre años entre el 92%-100%. Estudiando cuándo se produce esta mortalidad, se observa que la mayor parte tiene lugar durante el primer año tras la germinación, y en concreto, a lo largo del primer verano (Figura 13). Asimismo, hemos podido observar que en la única cohorte con supervivencia apreciable tras el primer verano (2007), hay diferencias significativas entre tratamientos, mostrando en los tratamientos por ASU una supervivencia del orden de 10 veces mayor que en el caso de las parcelas sometidas a CH2.

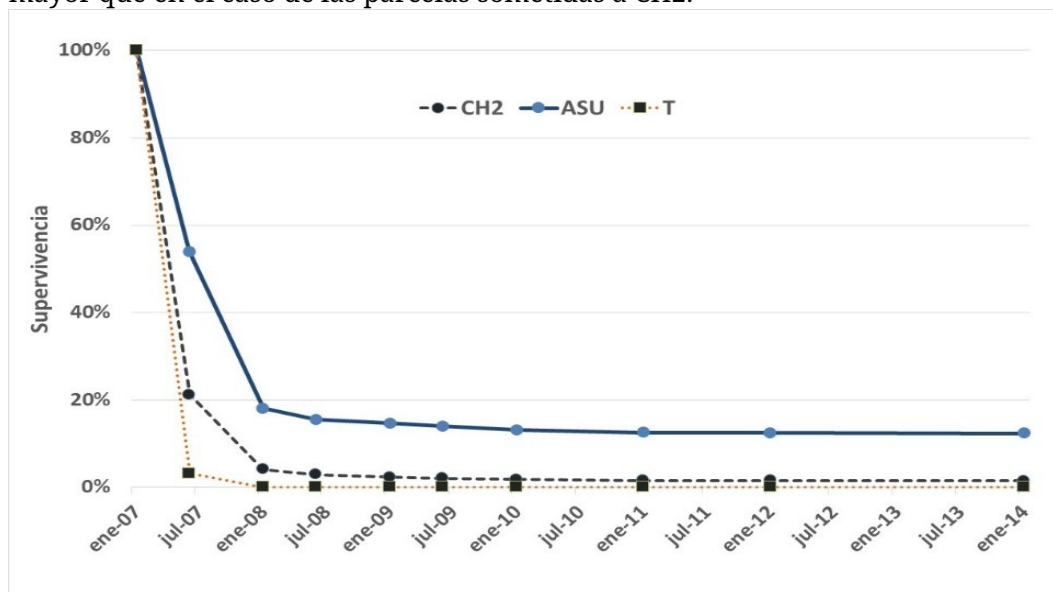


Figura 13. Patrón de supervivencia inicial según tratamiento en la cohorte 2007

La explicación a este particular comportamiento de mortalidad concentrada en el primer verano y con especial incidencia en las localizaciones más expuestas, es de tipo fisiológico. En los trabajos de Pardos et al. (2010) y Calama et al. (2013, 2015b) se analiza y modeliza el estado fisiológico del regenerado de distintas clases de edad a lo largo de tres años. Entre los principales resultados obtenidos se ha encontrado que a igualdad de condiciones ambientales (humedad edáfica, temperatura e irradiación) las plántulas de primer año, recién emergidas,

presentan menor tasa de asimilación neta fotosintética por unidad de superficie foliar, y un potencial hídrico al mediodía más negativo.

Otro resultado básico obtenido es que la tasa de asimilación neta fotosintética se maximiza en posiciones de media sombra, especialmente en los meses de verano. En posiciones muy cerradas, como son las correspondientes a los testigos, la poca luz incidente limita la fotosíntesis. En posiciones muy abiertas, la mayor radiación incidente se traduce en mayor temperatura foliar, mayores pérdidas hídricas por evapotranspiración, menor contenido de agua en el suelo, y mayor estrés hídrico, que puede provocar además cierre estomático y tasas netas de asimilación negativas. En Calama et al. (2015b) demostramos que el factor desencadenante de la mortalidad es la ocurrencia conjunta de días con tasa negativa de asimilación (las plantas consumen reservas al no hacer la fotosíntesis) y potenciales hídricos por debajo de -2.5 MPa, lo que sucede en los días centrales del verano. La ocurrencia conjunta de estos dos factores es mucho más probable en plántulas del primer año, y en exposiciones muy abiertas, lo que explica el patrón de supervivencia exponencial negativo observado, y la diferencia entre tratamientos.

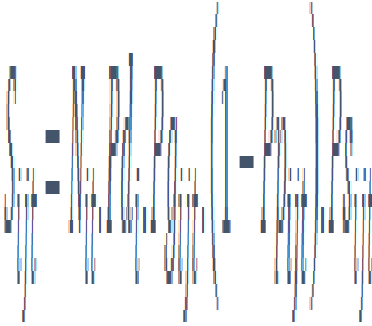
Asimismo, este control climático sobre la mortalidad estival explica el que haya diferencias entre años, posibilitando el que si algún verano tiene unas condiciones favorables de precipitación y temperatura haya un mayor porcentaje de plántulas supervivientes. Esto sucedió en el verano de 2007 (precipitación entre junio y septiembre 156 mm), lo que permitió la supervivencia de las plántulas localizadas en las parcelas con tratamiento ASU, y una mayor cobertura (no así las ubicadas en parcelas sometidas a CH2). Por el contrario, el verano de 2012 fue extremadamente seco (46 mm entre junio y septiembre) por lo que la práctica totalidad de la abundante cohorte emergida el otoño y primavera anteriores se perdió.

Una vez superado el primer verano las tasas de supervivencia tienden a estabilizarse, produciéndose de forma ocasional mortalidad de plantas establecidas en veranos extremadamente secos.

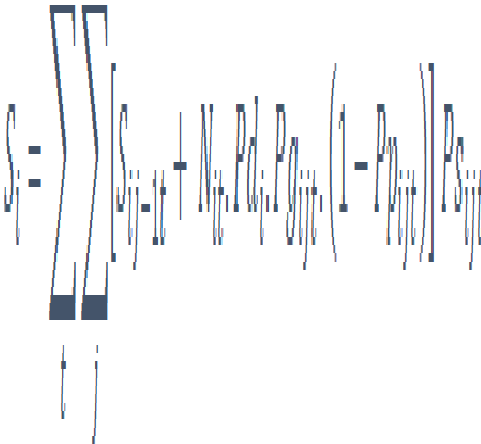
Resultado 6. Modelo integral para el éxito inicial del regenerado

Los resultados anteriores se integraron en un modelo estocástico multietápico (MANSO et al., 2014b), que permite definir el número esperado de plántulas establecidas en una localización i del pinar en un momento determinado j de un año t , S_{ijt} , como el producto de una serie de probabilidades asociadas a los diferentes subprocesos y número esperado de piñones producidos ese año por los pies vecinos a esa localización N_{it} , calculado a partir del modelo de producción de piña de CALAMA et al. (2011):

- Pd_i : probabilidad de que un piñón producido por un árbol vecino alcance esa localización, calculada a partir del modelo de dispersión primaria de MANSO et al. (2012)
- Pg_{ijt} : probabilidad de que el piñón germine hasta ese instante del año t , calculada a partir del modelo de germinación de MANSO et al. (2013b)
- $(1-Pp_{ijt})$: Probabilidad de que el piñón no sea predado en ese instante del año t , calculado a partir del modelo de predación de MANSO et al. (2014a)
- P_{sij} : probabilidad de que la plántula emergida sobreviva hasta el siguiente instante, calculada a partir del modelo de MANSO et al. (2018)



El modelo puede generalizarse para los j -ésimos instantes de un año t y los t -ésimos años que se consideren al objeto de estimar el número de plantas de regenerado establecidas transcurrido un número de años en la localización deseada S_i :



Los modelos para los subprocesos parciales que componen el modelo integral dependen principalmente del número de pies circundantes, su tamaño y la distancia a la localización objetivo, así como de distintos parámetros climáticos (precipitación y temperatura), en relación con los Resultados 1-5. Esto ha permitido que sea utilizado para comparar distintos tipos de tratamiento selvícola y corta de regeneración bajo diferentes escenarios climáticos.

Resultado 7. Crecimiento en altura y resultado a la puesta en luz

Hasta el año 2014 el inventario anual de emergencia y crecimiento del regenerado se centraba en todas las parcelas y subparcelas dentro del sitio de ensayo. A partir de la campaña 2015, y coincidiendo con el marcaje y la ejecución de la corta aclaratoria, el inventario anual se realiza únicamente en aquellas parcelas en las que se conseguido establecer regenerado en 2015, realizando el seguimiento de supervivencia y crecimiento en altura.

El análisis de las alturas de las plantas en 2015, justo antes de la corta aclaratoria, revela que existen diferencias significativas entre tratamientos, habiendo alcanzado mayor altura las plantas situadas en subparcelas del tratamiento CH2 que las del tratamiento ASU (Tabla 5), excepto en el caso de la cohorte de 2012. En el año 2023, 7 años después de la corta aclaratoria, se sigue observando diferencias entre tratamientos en las plantas de las cohortes de 2002 y 2007, con mayores alturas en CH2 que en ASU. En las plantas de la cohorte de 2012

presentan mayores alturas en ASU que en CH2, pero las diferencias no son significativas. Por último, no existen diferencias entre tratamientos en las alturas en las escasas plantas emergidas en 2018-2019 en las subparcelas de seguimiento.

Tabla 5. Patrón de crecimiento en altura observado en el regenerado establecido en 2015 (antes de la corta aclaratoria) y 2023

Trat	Altura 2015 (cm)				Altura 2023 (cm)		
	Cohorte 2002	Cohorte 2007	Cohorte 2012	Cohorte 2002	Cohorte 2007	Cohorte 2012	Cohorte 2019
CH2	130,4	56,9	15,0	394,5	288,6	77,7	44,7
ASU	103,7	50,9	15,2	289,6	167,6	109,0	36,5
p-valor	<0.0001	0.0028	0.9538	<0.0001	<0.0001	0.3866	0.8640

CALAMA et al. (2023) analizan el efecto que la corta de liberación ha tenido en el crecimiento y supervivencia de estas 572 plantas a lo largo de los 8 años 2015-2023. En el estudio se demuestra que para el crecimiento en altura de las cohortes de 2002 y 2007 hay un efecto significativo (negativo) de la competencia ejercida por los árboles remanentes tras la corta, y un efecto significativo (positivo) del porcentaje de liberación, definido como el cociente entre la competencia ejercida tras la corta dividida por la competencia antes de la corta. Esto implica que cuanto mayor y más intensa ha sido la corta de liberación sobre el grupo de regenerado, mayor ha sido el crecimiento en altura. Por otra parte, también para estas dos cohortes, se identifica un efecto negativo de la densidad del bosque de regenerado, pudiendo estancarse el crecimiento en altura en bosquetes muy densos. En la cohorte de 2012 no se ha identificado efecto significativo de la intensidad de corta ni de la densidad del bosque.



Figura 14. Medición del crecimiento en altura en bosquetes de regenerado y primeros



fenómenos de mortalidad por autoaclareo dentro de los bosquetes (septiembre 2023)

En cuanto al efecto de la corta sobre la supervivencia, se observa que en las cohortes de 2002 y 2007 el único factor que influye en la mortalidad es la densidad del bosque de regenerado, mientras que para la cohorte de 2012 se observa un efecto positivo de la corta de liberación sobre la supervivencia.

Del estudio anterior se pueden derivar una serie de conclusiones principales. La primera es que, aunque la supervivencia de plantas en las parcelas sometidas a CH2 fue menor, el crecimiento en altura de las plantas supervivientes es mayor, debido a la mayor disponibilidad de luz. La respuesta a la corta de liberación es positiva en términos de crecimiento y supervivencia. En nuestro caso la corta se aplicó cuando la cohorte de regeneración más numerosa (2007) tenía 8 años y una altura media superior a 50 cm. Los resultados anteriores demuestran que esta corta podría haberse adelantado tres o cuatro años, lo que se hubiese traducido en un mayor crecimiento en altura en las plantas de las parcelas ASU. Otra conclusión importante es que se empieza a observar un efecto de estancamiento en crecimiento en altura y mortalidad en los bosquetes de regenerado más densos (Figura 14). En estos bosquetes, la mayoría correspondientes a la cohorte de 2007, y que con 17 años alcanzan alturas superiores a 2 m y densidades que pueden superar las 50.000 plantas.ha⁻¹ se hace urgente la aplicación de los primeros clareos.

5. Discusión y conclusiones

¿Qué hemos aprendido tras más de 20 años de seguimiento? Implicaciones para la gestión

Tras 21 años de seguimiento del sitio de ensayo podemos afirmar que se ha conseguido avanzar de manera notable en el conocimiento acerca de la regeneración de *Pinus pinea*, tanto en aspectos teóricos sobre los distintos subprocesos implicados, como acerca de la gestión requerida para conseguir la regeneración. Muestra de este avance es la gran cantidad de producción científica y técnica derivada de los experimentos llevados a cabo en este sitio de ensayo).

Lo primero y fundamental que hemos aprendido es que **sí** es posible conseguir que los pinares de *Pinus pinea* de la Meseta Norte se regeneren como respuesta a la aplicación de un tratamiento de corta de regeneración regulado, consiguiendo la renovación de la masa en un tiempo determinado de acuerdo a los objetivos del plan de ordenación (Figura 15). Y lo segundo que hemos aprendido es que es un proceso lento, sujeto a la ocurrencia conjunta en el tiempo de distintos factores, principalmente de tipo climático.

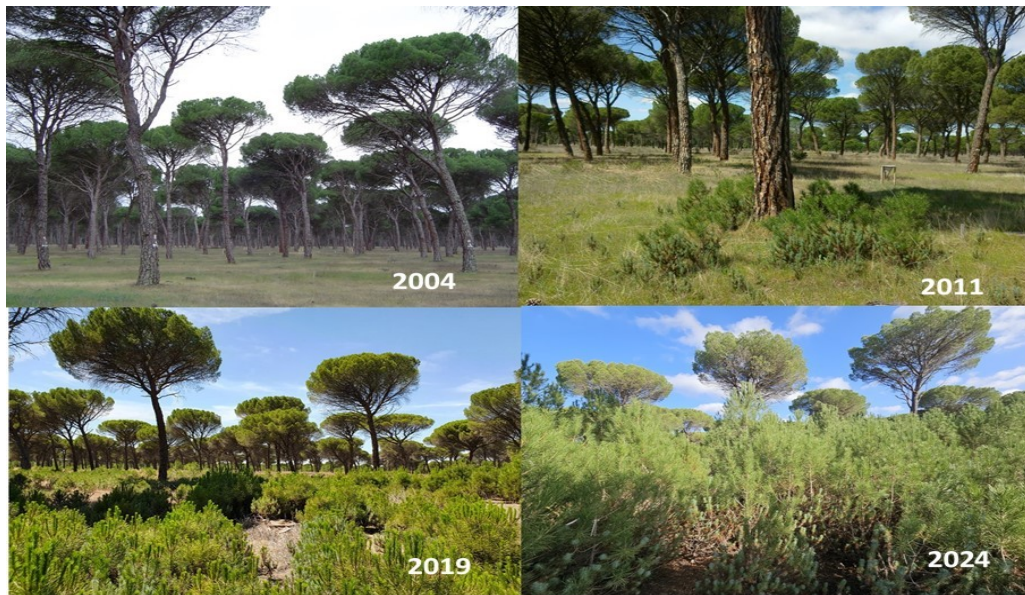


Figura 15. Evolución de la parcela 5 (tratamiento ASU) entre 2004 y 2024

Desde un punto de vista temporal, la consecución exitosa de la regeneración requiere de:

- Un año con cosecha de piña suficiente, valor que podemos situar en torno a la producción media, cifrada en unos $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, que implique una lluvia de piñón superior a $5 \text{ piñones} \cdot \text{m}^{-2}$. Se considera como valor ideal cosechas por encima de $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, que implican una lluvia de piñón de $10 \text{ piñones} \cdot \text{m}^{-2}$. Estas cosechas están ligadas a la ocurrencia de un año con otoño y primavera húmedos cuatro años antes de la dispersión (tres años antes de la maduración de la piña), una primavera húmeda antes de la floración y precipitación significativa durante los últimos meses de maduración.
- Un otoño post-dispersión húmedo, con temperaturas benignas (máximas en torno a 14°C), y ausencia de heladas. En estas condiciones la mayor parte de los piñones germinarán. En el caso de que no se produzcan estas condiciones, la probabilidad de que los piñones no germinados sobrevivan hasta el otoño es muy baja, debido a la acción depredadora por parte del ratón de campo.
- Un primer verano post-emergencia con ocurrencia de precipitación, al menos en forma de tormentas, durante los meses centrales, y donde no se produzcan olas de calor de larga duración. La ocurrencia conjunta de sequías pronunciadas y muchos días con temperaturas máximas por encima de 35°C se traducen en una muy alta probabilidad de mortalidad de las plántulas recién emergidas.

La combinación de estas condiciones óptimas no es común. A pesar de las múltiples ocasiones favorables para cada subproceso que ocurren individualmente, sólo una cohorte de las 11 posibles (2004-2014) se puede considerar realmente exitosa. Aunque el seguimiento intensivo se paró en 2015, visualmente no se aprecia que en los últimos años haya ocurrido un episodio exitoso de establecimiento de regenerado, aunque sí que se ha observado que tras la buena campaña de piña del año 2022-2023, se produjo un otoño húmedo y cálido (ausencia de heladas en octubre y noviembre, y precipitación entre septiembre y noviembre superior a 230 mm), que dio lugar a un buen episodio de emergencia al



comienzo de 2024. La ocurrencia de un verano húmedo en 2024 (con precipitación entre junio y agosto tres veces superior a la media) permite que en otoño de 2024 veamos el ensayo tapizado una vez más de plantas que han superado el primer verano y que podrían dar lugar a una nueva cohorte exitosa de establecimiento.

Considerando este último episodio de emergencia exitosa, podemos ver que en los 21 años transcurridos desde la corta de regeneración sólo en tres (2007, 2012 y 2024) se ha producido una emergencia exitosa, que hasta el momento se ha traducido en un único episodio de establecimiento (2007), complementado con un pequeño porcentaje de plantas supervivientes de un episodio anterior (2002) y del episodio de 2012, quedando a la espera de lo que pueda suceder con la cohorte de 2024.

Todos estos subprocesos limitantes (producción de fruto, germinación y supervivencia inicial) se caracterizan por un marcado control climático. Teniendo en cuenta que los escenarios futuros de cambio climático prevén un incremento de las temperaturas, y mayor frecuencia y duración de las sequías intensas y las olas de calor estivales, es esperable que el tiempo necesario para la regeneración se extienda, al haber menos ventanas de oportunidad para el éxito de para los diferentes subprocesos.

Desde el punto de vista de la gestión el principal resultado obtenido es que el tratamiento por aclareo sucesivo uniforme es el que garantiza la consecución exitosa de la regeneración. Esto se debe a que:

- La dispersión se produce principalmente por gravedad, jugando la dispersión secundaria por fauna un papel menor. Más del 90% del piñón dispersado se concentra bajo la copa, o alejado a lo sumo un cuarto de radio de copa. La probabilidad de que un piñón alcance el centro de los grandes huecos habituales en las cortas a hecho en dos tiempos es casi nula. Con densidades de arbolado adulto inferiores a 30 pies.ha⁻¹ el número de posiciones a las que no llega piñón puede superar el 60% del territorio
- La germinación se ve favorecida en las posiciones bajo copa, siendo prácticamente nula en las posiciones expuestas a plena luz, habituales en las cortas a hecho en dos tiempos
- La supervivencia tras el primer verano es mucho más exitosa en las posiciones sombreadas localizadas bajo las copas, mucho más habituales en el tratamiento de aclareo sucesivo uniforme.

El único episodio de establecimiento exitoso de 2007 ha sido suficiente para que en las parcelas sometidas a aclareo sucesivo uniforme se haya superado el umbral de éxito de regeneración de 2000 plantas establecidas por hectárea, con máximos observado de hasta 10.000 plantas.ha⁻¹ en la parcela 5. Por el contrario, en las parcelas sometidas a corta a hecho en dos tiempos no se ha alcanzado este umbral, situándose en el mejor de los casos (parcela 1) en el entorno de los 1000 plantas.ha⁻¹.

A partir de lo anterior se ha desarrollado e implementado en el territorio una nueva silvicultura de regeneración, basada en las cortas por aclareo sucesivo uniforme, con el siguiente esquema:

- A lo largo del ciclo productivo se debe mantener un plan de claras que garanticen que se llega al turno (120 años) con una densidad mínima de 125 – 150 pies.ha⁻¹. La aplicación de claras intensas que conduzcan a densidades inferiores a 100 pies.ha⁻¹ queda desaconsejada. Si se alcanza el final de turno con densidad superior a 150 pies.ha⁻¹ puede ser necesario

- aplicar una corta preparatoria que busque reducir la densidad hasta 100-125 pies.ha⁻¹
- La primera corta diseminatoria puede programarse cuando se prevea la ocurrencia de una cosecha abundante de piña para el año siguiente. La corta diseminatoria debe buscar dejar en torno a 75 – 80 pies.ha⁻¹, distribuidos de manera uniforme en el espacio, y seleccionando aquellos mejor conformados y con copas más extendidas.
 - Tras la corta diseminatoria habrá que esperar a que se produzca un episodio de emergencia y establecimiento exitoso, que implique la instalación de regenerado bajo las copas de los pies remanentes.
 - La corta aclaratoria debe realizarse una vez que el regenerado instalado bajo las copas haya alcanzado una altura de 40 – 50 cm, buscando liberar bosquetes densos de regenerado. Retrasar la liberación de los bosquetes de regenerado se puede traducir en un estancamiento en el crecimiento en altura y un aumento de la mortalidad. Tras esta corta deben quedar unos 30-35 pies adultos remanentes por hectárea, que serán aquellos en los que aún no se haya establecido una regeneración abundante bajo la copa.
 - La segunda corta aclaratoria, que puede considerarse una corta final, debe liberar aquellos bosquetes de regenerado aún no liberados, cuando la altura de los mismos no supere el 1.5 – 2 m. En simultáneo con esta corta se procederá a realizar los primeros clareos en los bosquetes más densos, al objeto de evitar la mortalidad por autoaclareo en los mismos. En esta operación podrá realizarse además una primera poda de los pies remanentes, hasta una altura de 1 m.
 - Tras esta segunda corta aclaratoria pueden dejarse en pie en torno a 5-10 pies adultos.ha⁻¹, que pueden escogerse entre aquellos bajo los que aún no se ha conseguido la regeneración. Si una vez realizada esta corta se observa la existencia de huecos sin regenerar puede recurrirse a la introducción puntual de planta de 2 savias, con mayor probabilidad de supervivencia estival.

No se puede establecer un calendario fijo de cortas, sino que éstas deben ir siguiendo el establecimiento y desarrollo de la regeneración. En cuanto a la extensión del periodo de regeneración, establecida habitualmente en 20 años, de acuerdo a lo observado, y a los posibles escenarios de cambio climático, puede no ser suficiente, siendo necesario recurrir a periodos más flexibles.

¿Qué nos falta por saber? El futuro del sitio de ensayo

Aunque el avance en el conocimiento sobre la regeneración de *Pinus pinea* y la aplicación de una selvicultura orientada al mismo en estos 21 años ha sido notable, aún nos quedan bastantes cosas por conocer.

El ensayo requiere de la aplicación de las segundas cortas aclaratorias, al menos en las parcelas inicialmente tratadas por aclareo sucesivo uniforme, y la aplicación de clareos intensos en los bosquetes de regenerado densos. Está prevista la realización de ambos tratamientos a partir del otoño de este año 2025. Al objeto de conocer la evolución natural de los bosquetes tenemos previsto dejar algunos sin intervenir, al objeto de estudiar la dinámica natural de mortalidad por autoaclareo, así como el efecto sobre el potencial estancamiento del crecimiento en altura. También analizaremos el efecto del clareo inicial sobre el crecimiento en altura, para lo que continuaremos realizando el seguimiento del regenerado

establecido.

Estaremos muy atentos al destino y éxito de establecimiento de la cohorte de 2024, que puede suponer un complemento a la cohorte de 2007, y que en el caso de ser exitosa y cubrir parte de los huecos no regenerados anteriormente, podría dar lugar a una estructura semirregular de la masa.

A lo largo de todos estos años hemos realizado un seguimiento del regenerado a través de un muestreo sistemático en una red de subparcelas, que cubre más del 6% de la superficie. Sin embargo somos plenamente conscientes de que la compleja estructura horizontal de disposición del regenerado no queda bien recogida por este muestreo. Para poder profundizar en este aspecto, y tener una visión real de cómo se ha regenerado todo el sitio de ensayo, en otoño de 2024 hemos realizado un vuelo LiDAR del mismo (Figura 16), y cuyos resultados se presentan en una comunicación independiente en este Congreso Forestal Español. Asimismo, y al objeto de tener también una visión completa de la estructura vertical, a lo largo de la primavera de 2025 se va a realizar un escaneado con LiDAR terrestre. La unión de ambas nubes de puntos (área y terrestre) nos van a permitir disponer de un modelo tridimensional completo del regenerado. La repetición en años futuros de los escaneos permitirá además estudiar la evolución del regenerado.

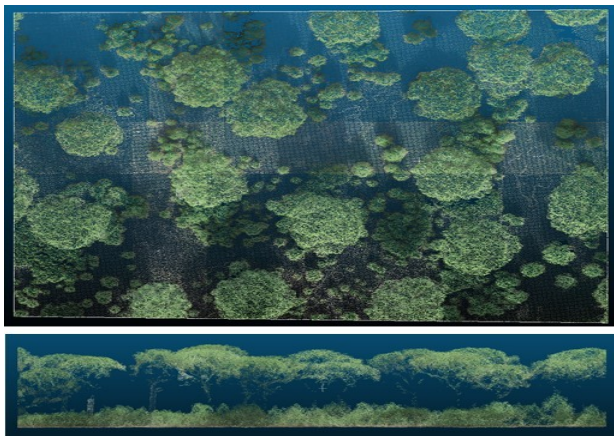


Figura 16. Vista superior y corte lateral de la nube de puntos del vuelo LIDAR correspondiente a la parcela 5, donde se aprecia el estrato de arbolado adulto y de regenerado

Otra cuestión pendiente es qué hacer con las parcelas sometidas a corta a hecho en dos tiempos, en las que la regeneración no ha sido exitosa. En la actualidad estamos barajando la posibilidad de realizar una plantación de enriquecimiento bajo la copa de los pies remanentes, así como en los huecos no regenerados. Una última cuestión sería plantear el estudio del papel de los córvidos u otras aves en la dispersión secundaria del piñón.

6. Conclusiones

El seguimiento a lo largo de 21 años del sitio de ensayo de regeneración de *Pinus pinea* nos ha permitido avanzar en el conocimiento sobre los distintos subprocesos implicados en la dinámica de regeneración de la especie y proponer un nuevo modelo de silvicultura de regeneración a aplicar en el territorio de estudio. Todos los resultados obtenidos ponen de manifiesto la relevancia y necesidad de mantener los ensayos durante largos plazos en el ámbito de la investigación



forestal, así como la necesaria colaboración entre investigadores y gestores forestales en el diseño, seguimiento y explotación de resultados de estos dispositivos. Transcurridos este tiempo años consideramos que el seguimiento del sitio de ensayo puede seguir proporcionando una muy valiosa información sobre la regeneración de la especie en las condiciones de la Meseta Norte, y la gestión óptima que debe ser aplicada para conseguir esta regeneración bajo los escenarios ambientales cambiantes, y de acuerdo con los objetivos perseguidos en la gestión de estos pinares.

7. Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca actualmente en el ámbito financiero y funcional del proyecto de transferencia MITECO2023-AF. 20234TE005 entre el MITERD y el CSIC y del proyecto PID2022-136906OB-C21 BEGINPINE financiado por la Agencia Española de Investigación. El soporte financiero en periodos anteriores fue posible gracias a los proyectos ya finalizados CPE-03-001-C5-2, RTA-2007-00044-00, AGL2010-15521, RTA2013-00011-C2 y AGL2017-83828.1 OLDPINE, y los convenios CC-02-0017 y CC-16-095 PROPINEA. Los autores quieren agradecer al Exmo Ayuntamiento de Portillo el haber permitido instalar y mantener este dispositivo en los montes de su propiedad. También quieren agradecer el apoyo y dedicación a lo largo de todos estos años del personal técnico de la Oficina Comarcal de Medio Ambiente de Viana de Cega y del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid. Por último, a lo largo de estos 21 años ha sido mucho personal del ICIFOR el que ha participado en las tareas de instalación, seguimiento e inventario de los dispositivos, y a ellos va destinado este agradecimiento.

8. Bibliografía

- CALAMA, R.; MUTKE, S., TOMÉ, J.A., GORDO, F.J., MONTERO, G., TOMÉ, M. 2011. Modelling spatial and temporal variability in a zero-inflated variable: the case of stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production. *Ecological Modelling* 222, 606-618. doi 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.020
- CALAMA R, MADRIGAL G, MANSO R, GARRIGA E, GORDO FJ, PARDOS M. 2012. Germinación, emergencia y supervivencia de regenerado en *Pinus pinea* L. En: La regeneración natural de los pinares en los arenales de la meseta castellana (eds. FJ Gordo, R Calama, M Pardos, F Bravo, G Montero) IUIGFS-Uva-INIA: 115-129
- CALAMA, R., PUÉRTOLAS, J., MADRIGAL, G., PARDOS, M. 2013. Modelling the environmental response of leaf net photosynthesis in *Pinus pinea* L. natural regeneration. *Ecological Modelling*. 251: 9-21. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.11.029.
- CALAMA, R., MANSO, R., BARBEITO, I., MADRIGAL, G., GARRIGA, E., GORDO, FJ., MONTERO, G., CAÑELLAS, I., PARDOS, M. 2015a. Do inter-specific differences in seed size determine natural regeneration traits in *Pinus pinea* and *Pinus sylvestris*? *Applied Ecology and Environmental Research* 13(2): 387-404. Doi: 10.15666/aeer/1302_387404
- CALAMA, R., PUÉRTOLAS, J., MANSO, R., PARDOS, M. 2015b. Defining the optimal regeneration niche for *Pinus pinea* L. through physiology-based models for seedling survival and carbon assimilation. *Trees* 29(6): 1761-1771 : DOI: 10.1007/s00468-015-1257-5
- CALAMA, R., GORDO, J., MADRIGAL, G., MUTKE, S., CONDE, M., MONTERO, G., PARDOS, M. 2016. Enhanced tools for predicting annual stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production at tree and forest scale in Inner Spain. *Forest Systems*, 25(3), e079. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016253-09671>



GORDO, J. 1999. Ordenación y Selvicultura de *Pinus pinea* en la provincia de Valladolid. En Madrigal, A. (ed.): Ciencias y Técnicas Forestales. 150 años de aportaciones de los Ingenieros de Montes (pp 79-100). FUCOVASA, Madrid.

GORDO, J., CALAMA, R., PARDOS, M., BRAVO, F., MONTERO, G. (Editores.). 2012. La regeneración natural de *Pinus pinea* L. y *Pinus pinaster* Ait. en los arenales de la Meseta Castellana. Edita IUGFS. ISBN: 978-84-615-9823-6. 254 pp

PARDOS, M., CALAMA, R. 2017. Responses of *Pinus pinea* seedlings to moderate drought and shade: is the provenance a differential factor? *Photosynthetica* 55. doi:10.1007/s11099-017-0732-1

MANSO, R., PARDOS, M., KEYES, C., CALAMA, R. 2012. Modelling the spatio-temporal pattern of primary dispersal in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Ecological Modelling* 226: 11-21 doi. 10.1016/j.ecolmodel.2011.11.028

MANSO R., CALAMA R., MADRIGAL G., GARRIGA E., GORDO F.J., PARDOS, M. 2012. Simulación de los efectos de diferentes intensidades de corta sobre la limitación de semillas en rodales de *P. pinea* L. de la Meseta Castellana. *Cuadernos SECF* 34: 153-158. ISBN: 978-84-937964-4-0.

MANSO, R., CALAMA, R., MADRIGAL, G., PARDOS, M. 2013a. A silviculture-oriented spatio-temporal model for germination in *Pinus pinea* L. in the Spanish Northern Plateau based on a direct seeding experiment. *European Journal of Forest Research* 132: 969-982. DOI 10.1007/s10342-013-0724-z

MANSO, R., FORTIN, M., CALAMA, R., PARDOS, M. 2013b. Modelling seed germination in forest tree species through survival analysis. The *Pinus pinea* L. case study. *Forest Ecology and Management* 289: 515-524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.028>

MANSO, R., PARDOS, M. CALAMA, R. 2014a. Climatic factors control rodent seed predation in *Pinus pinea* L.stands in Central Spain. *Annals Forest Science* 71: 873-883 DOI 10.1007/s13595-014-0396-y

MANSO, R., PUKKALA R., PARDOS M., MIINA J., CALAMA, R. 2014b. Modelling *Pinus pinea* forest management to attain natural regeneration under present and future climatic scenarios. *Can J For Res*, 44(3): 250-262 DOI: 10.1139/cjfr-2013-0179

MANSO, R., CALAMA, R., PARDOS, M., FORTIN, M. 2018. A maximum likelihood estimator for left-truncated lifetimes based on probabilistic prior information about time of occurrence. *Journal of Applied Statistics*. In press. Doi: 10.1080/02664763.2017.1410527

MONTERO, G., RUIZ-PEINADO, R., CANDELA, J.A., CAÑELLAS, I., GUTIERREZ, M., PAVÓN, J., ALONSO, A., del RÍO, M., BACHILLER, A., CALAMA, R. 2004. Selvicultura de *Pinus pinea* L. (Cap. 3) En *El Pino piñonero (Pinus pinea L.) en Andalucía: Ecología, Distribución y Selvicultura*, p. 113-252. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía

PARDOS, M., RUIZ DEL CASTILLO, J., CAÑELLAS, I., MONTERO, G., 2005. Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 14 (3), 434-445

PARDOS, M., PUÉRTOLAS, J., MADRIGAL, G., GARRIGA, E., DE BLAS, S., CALAMA, R. 2010. Seasonal changes in the physiological activity of regeneration under a natural light gradient in a *Pinus pinea* regular stand. *Forest Systems* 19(3): 367-380



RUIZ DE LA TORRE, J., CEBALLOS, L. 1979. Árboles y Arbustos de la España Peninsular. ETS Ingenieros de Montes. Madrid