

PATRÓN DE LA REGENERACIÓN TRAS CORTAS A HECHO EN DOS TIEMPOS SOBRE MASAS DE REPOBLACIÓN DE *PINUS PINASTER* AITON CON PRESENCIA VARIABLE DE FRONDOSAS (SIERRA MADRONA)

Sergio de Frutos López¹

¹Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Antonio Novais 10. 28040 Madrid (sergio.defrutos@upm.es)

Resumen

La naturalización de las repoblaciones es una de las estrategias en desarrollo para la adaptación de estas masas forestales al cambio global. Para masas donde la presencia de frondosas bajo cubierta ya es significativa, adelantar la regeneración de la masa principal puede permitir un cambio significativo en la estructura y composición específica, pudiendo ser más resilientes frente al cambiante escenario climático. Por ello, en un pinar de repoblación de *Pinus pinaster* Aiton de 60 años de edad situado en Fuencaiente (Ciudad Real), con presencia de frondosas dispersas a golpes (*Quercus suber*, *Q. faginea* y *Arbutus unedo*, entre otras), sobre el que en 2012 se ejecutó la primera intervención de una corta a hecho en dos tiempos, se planteó un ensayo para valorar el éxito de este tipo de cortas en la diversificación y regeneración de este tipo de masas. El inventario de las parcelas de regeneración se ha realizado cada otoño en el período 2011-2018, midiéndose el regenerado de *Pinus pinaster* y de los *Quercus* acompañantes por clases de altura, así como diversos parámetros ecológicos y fisiográficos, pudiendo concluirse que la regeneración del pinar puede ser considerada como exitosa, dependiente de veranos frescos y húmedos y otra serie de factores fisiográficos, si bien no ha habido un efecto significativo en la diversificación específica del cantón, pues la regeneración de *Quercus* sólo es abundante donde ya lo eran anteriormente sus pies adultos.

Palabras clave

Adaptación, diversificación, masas mixtas, naturalización

Abstract

The naturalization of reforestation is one of the strategies in development for the adaptation of these forests to global change. In forests where the presence of broadleaves under cover is already significant, advancing the regeneration of the main mass can allow a significant change in the structure and specific composition, being able to be more resilient to face of the changing climatic scenario. Thus, in a 60-year old

reforested forest of *Pinus pinaster* Aiton, with broadleaves under cover (*Quercus suber*, *Q. faginea* and *Arbutus unedo*, among others), where the first cut of a seed-tree method was applied in 2012, an essay was proposed to assess the success of this regeneration felling in the diversification and regeneration of these forests. The inventory of the regeneration plots was carried out each autumn during the period 2011-2018, measuring the regeneration of *Pinus pinaster* and *Quercus* by height classes, as well as various ecological and physiographic parameters. As conclusions, we can infer that pine regeneration can be considered as successful, dependent on fresh and humid summers and other physiographic factors, although there has not been a significant effect on the specific diversification of the compartment, as *Quercus* are abundant only where their adult trees already were.

Keywords

Adaptation, diversification, mixed forests, naturalization

1. Introducción

Durante la segunda mitad del siglo XX, la aplicación del Plan General de Repoblación Forestal de España, diseñado por Luis Ceballos y Joaquín Ximénez de Embún permitió un cambio significativo en el paisaje forestal de nuestro país. Un total de 3,5 millones de hectáreas fueron repobladas durante los cerca de 50 años de aplicación del Plan (Montero, 1997), en muchos casos con un objetivo protector frente a la erosión y ejecutadas con especies heliófilas, como el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) o el pino resinero o negral (*Pinus pinaster* Aiton). Sin embargo, en la actualidad la mayoría de estas repoblaciones presentan una serie de problemas: monoespecificidad, que hace las masas menos resilientes frente a algunas perturbaciones, como plagas o incendios (Griess y Knoke, 2011); problemas de adaptación al sitio; coetaneidad; ausencia de tratamientos selvícolas y problemas de adaptación al cambio climático (Madrugal, 1998)

La diversificación estructural y específica de las repoblaciones es uno de los principales objetivos de la gestión forestal en la actualidad, pues a través de los mismos se puede llegar a aumentar los niveles de biodiversidad de las masas repobladas, conseguir que estas sean más resilientes y estén mejor adaptadas al cambio global (Yousefpour *et al.*, 2017). Con este fin, se han planteado diversas alternativas, como pueden ser las cortas de mejora y regeneración o la implantación de núcleos de dispersión bajo cubierta.

En el caso que nos ocupa, el de las repoblaciones de la segunda mitad del siglo XX, en muchos casos no han alcanzado la edad de madurez teórica, si bien, abordar su regeneración de forma anticipada puede permitir abordar la diversificación estructural y específica de las mismas además de conseguir una masa ordenada para siguientes turnos, aunque sea necesario asumir inevitables sacrificios de cortabilidad, al principio por defecto y luego por exceso, durante el turno de transformación.

Aunque la regeneración de las masas de repoblación citadas está poco estudiada, la existencia de masas naturales de las mismas especies empleadas en el proceso repoblador permite conocer cuáles son las mejores opciones para emprender la regeneración y qué factores intervienen en el éxito de la regeneración en estas masas, siendo los aclareos sucesivos uniformes y las cortas a hecho (en uno o dos tiempos) las más utilizadas en el caso de *Pinus pinaster* (Guerra y Bravo, 2004; Rodríguez-García, Gratzler y Bravo, 2011; Vergarechea *et al.*, 2019a). Sin embargo, a pesar de que el conocimiento sobre el proceso de regeneración de *Pinus pinaster* es bastante amplio, este se limita sobre todo a las masas naturales situadas en los arenales interiores de la Meseta Norte (Ruano, Pando y Bravo, 2009; Rodríguez-García, 2011), siendo fácil comprobar cómo hay grandes cuellos de botella no estudiados en el comportamiento de

la regeneración natural de *Pinus pinaster*. Por un lado, no hay estudios de regeneración en el entorno de Sierra Madrona, y sería un error asumir como válidos en otra localización los resultados obtenidos en los múltiples estudios realizados en la Meseta Castellana, con otro clima y tipo de suelo. Por otro lado, los estudios de regeneración en masas repobladas son también escasos, y están empezando a realizarse actualmente, como los elaborados por Muñoz Haro (2017) o Fernández Ramírez (2018). Igualmente, no existen estudios, en *Pinus pinaster*, donde se evalúe cómo está regenerando una masa de *Quercus* que se encuentre en el subpiso. Es por ello que en la presente comunicación se presenta una primera aproximación a la regeneración de los pinares de repoblación en Sierra Madrona, y su posible naturalización.

Los objetivos concretos de este trabajo han sido:

- Comprobar la efectividad de las cortas a hecho en dos tiempos para la regeneración de masas de repoblación de *Pinus pinaster* Aiton
- Estudiar el efecto en la diversificación específica de este tipo de cortas de regeneración
- Evaluar los efectos de diferentes factores ecológicos, fisiográficos y climáticos sobre el proceso de regeneración natural de *Pinus pinaster* y otras frondosas acompañantes

2. Material y Métodos

2.1. Sitio de estudio

La zona de actuación corresponde con el cantón 2 del cuartel D del grupo de montes de Fuencaliente, exactamente dentro del M.U.P. nº 1 "Arroyo del Azor".

El grupo de montes de Fuencaliente (Ciudad Real) se encuentra en la Sierra Madrona, dentro del Parque Natural del Valle de Alcudia y Sierra Madrona, y está formado por 7 montes de Utilidad Pública. Estos montes, casi en su totalidad, fueron exceptuados de la desamortización de Madoz, al estar poblados por especies del género *Quercus*, si bien, su estado vegetativo era deficiente y su espesura defectiva. La reforestación de estos terrenos se efectuó en virtud de 6 consorcios, firmados entre el Ayuntamiento de Fuencaliente y el Patrimonio Forestal del Estado entre 1945 y 1964, siendo la especie elegida el pino negral, aunque se utilizaron también el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el laricio (*Pinus nigra*) en algunas zonas del grupo de montes. En concreto, el monte "Arroyo del Azor" se repoblaría por siembra entre 1946 y 1949, lo que daría a la masa una edad de 60 años en el momento de la corta, que tuvo lugar en la primavera-verano del año 2012, utilizándose el sistema de apeo y tronzado con procesadora y desembosque con autocargador, extrayéndose las copas para su astillado en cargadero.

La zona de actuación tiene una altitud media de 825 m, orientación de solana y pendientes inferiores al 25%. El suelo, siguiendo el trabajo de Montero *et al.* (1999), es un luvisol háplico, tratándose de un suelo evolucionado sobre roca silíceo, con una capacidad de retención de agua aceptable y permeabilidad entre moderada y escasa, con un pH cercano a 5 y valores aceptables en cuanto a nutrientes. En cuanto al clima, las precipitaciones medias son de 740 mm anuales, distribuidas principalmente en otoño e invierno, y la temperatura media anual de 21,9°C.

2.2. Dispositivo experimental

La variabilidad en la composición específica de la masa forestal es una característica fundamental del cantón donde se han localizado las actuaciones. Es por ello que el diseño del inventario se adaptó para capturar de la mejor forma posible esa variabilidad

existente, situando 26 parcelas en los tres tipos de masa detectados en el cantón: pinar puro de *P. pinaster* (> 90% de pino resinero, de ahora en adelante masa “Pura”), pinar con algún pie de *Quercus* disperso (70-90% de *P. pinaster*, < 5 *Quercus* por parcela, masa “Mixta 1”), y pinar con abundantes *Quercus* (< 70% de *P. pinaster* y > 5 *Quercus* inventariables por parcela, masa “Mixta 2”).

En concreto, se replantearon 9 parcelas en pinar puro, 9 en pinar con escasos *Quercus* y 8 en pinar con abundantes *Quercus*, lo que hacía un total de 26 parcelas de inventario en todo el cantón.

Cada una de estas 26 parcelas de inventario a su vez cuenta con diferentes subparcelas:

- Una parcela circular de 12,62 m de radio (500 m² de superficie), en la que se inventariaron todos los pies mayores de 7,5 cm de diámetro normal
- Una parcela circular de 5 m de radio con el mismo centro que la anterior, donde se registraron todos los pies menores que superaran una altura de 1,3 m
- Tres parcelas circulares anidadas de 1 m de radio para registrar toda la regeneración con altura inferior a 1,3 m. Estas tres subparcelas se sitúan en el centro de la parcela de 12,62 m de radio y a 6 metros del mismo en las orientaciones Norte y Oeste.

En todos los casos las parcelas son circulares, pues es la forma geométrica que maximiza la relación área/perímetro y reduce la incertidumbre en cuanto a los elementos que están en el borde de la parcela.

La explicación para el uso de parcelas de 500 m² lo podemos encontrar en que, de esta manera, entra un número razonable de pies mayores por parcela, lo que da mayor representatividad al inventario dasométrico realizado.

Por su parte, el tamaño de 1 m de radio debe explicarse en la facilidad para replantear y medir una sola persona la parcela, mediante el uso de un flexómetro. Este tamaño, para parcelas de regeneración, ha sido poco utilizado en el pasado para muestreos de regeneración, aunque ahora se ha extrapolado a los bosquetes de FORADMIT en Júcar (Fernández Ramírez, 2018) y Nava del Horno. Las mediciones de regeneración suelen realizarse bien por transectos (como en Calvo *et al.* (2008)), o con parcelas, pero de tamaños mayores (cuadradas de 4x5m, como en Madrigal *et al.* (2007); de 3x3 m (Madrigal *et al.* (2005)); 5 m de radio, ampliables a 10 si no se encontraba regeneración (Canga-Líbano, Rodríguez-Soalleiro y Vega-Alonso (2003)); 8 m de radio (Vergarechea *et al.* (2019a)), y muchos más tamaños).

En la *Figura 1* se puede observar cuál es la disposición de las parcelas utilizadas en este trabajo.

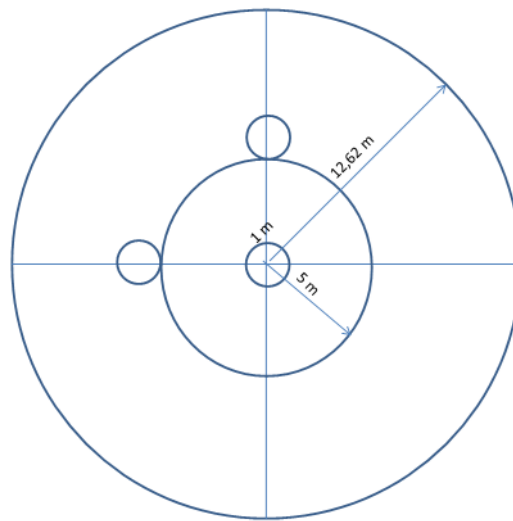


Figura 1. Croquis con la disposición, forma y tamaño de las parcelas de inventario. La orientación de la figura es tal que hacia arriba de la imagen se encuentra el norte

2.3. Metodología de muestreo

Han de distinguirse los procedimientos llevados a cabo para el inventario de arbolado adulto y para la regeneración inducida.

Para el arbolado adulto, se realizaron dos inventarios dasométricos en las parcelas de 12,62 m de radio, uno previo a la corta y otro posterior, para obtener de esta forma el peso de las cortas y la masa remanente tras las mismas. Los pies mayores de 7,5 cm de diámetro se localizaron con rumbo y distancia al centro de la parcela. A su vez, de cada pie se tomó la especie y dos diámetros normales perpendiculares entre sí. En los 5 árboles más gruesos de entre los pinos se midió la altura total, altura de copa y dos diámetros de copa (el primero en dirección al centro de la parcela, y el segundo, en dirección perpendicular al anterior). Cuando la parcela tenía presencia de otras especies se tomaron también las alturas y copas de al menos dos pies por especie y un máximo de cuatro pies, siempre los más gruesos. También se apuntaría la cobertura de matorral y otras especies acompañantes, así como pendiente y orientación.

Para la regeneración, se han de distinguir los dos tamaños de subparcela, el de 5 m y el de 1 m de radio. El primero se empleó para el inventario de los pies menores de 7,5 cm de diámetro, pero con altura superior a 1,3 m, que suponían la regeneración anticipada a las cortas, mientras que en el segundo se centró el propio estudio de la regeneración inducida por el tratamiento selvícola realizado. En estas parcelas de 1 m de radio se realizó un inventario previo a las cortas, en el que se mediría, por clases de altura (0-10, 10-50, 50-90 y 90-130 cm), la regeneración inducida de *Pinus pinaster* y de *Quercus* spp., así como parámetros ecológicos como pedregosidad, espesor y porcentaje de pinocha o cobertura de herbáceas y de matorral. Todas estas mediciones se fueron repitiendo cada otoño tras la ejecución de las cortas, añadiéndose otros parámetros como la altura del matorral.

2.4. Tratamiento estadístico de los datos

Además de un análisis descriptivo de los datos obtenidos, tanto de arbolado adulto como de la regeneración inducida, se han aplicado diferentes técnicas estadísticas para poder obtener la relación entre diferentes parámetros ecológicos y fisiográficos y el regenerado de pino y *Quercus*.

La parte más importante del análisis la constituye el uso del coeficiente de correlación de Spearman para evaluar las relaciones entre especies y parámetros fisiográficos. Esta técnica ha sido muy empleada en análisis de regeneración natural en los últimos años (Rodríguez-García, Juez y Bravo, 2010; Vergarechea *et al.*, 2019a y otros muchos trabajos). En el caso de las correlaciones entre especies, y siguiendo el criterio marcado por Vergarechea, se realiza un proceso de filtrado, eliminando las parejas de valores (0,0) del análisis, pues pueden empañar el análisis. Para estos análisis y otros posteriores, se distingue entre estadios de desarrollo del regenerado, por un lado, “seedlings” (terminología en inglés para hablar del “diseminado” o regenerado de 1 año), que en nuestra metodología de inventario coincide con la primera clase de altura (0-10 cm), por observación en campo de que el regenerado de 1 año se engloba exclusivamente dentro de esta clase; y por otro, “saplings” (terminología en inglés para hablar de “repoblado”), donde se engloban los pies en las otras tres clases de altura (10-50, 50-90 y 90-130 cm), pies que tienen más de 1 año de vida y que pueden considerarse “establecidos”.

En el caso de los *Quercus*, no se realiza división entre “seedlings” y “saplings” por dos motivos:

- Los pies de la primera clase (0-10 cm) tienen, en su gran mayoría, más de un año, por lo que, sin mayor información, sería complicado distinguir entre ambas clases de regenerado
- Hay muy pocos pies que hayan saltado a la clase entre 10 y 50 cm, y ninguno en las superiores

Por otro lado, siguiendo lo realizado en el trabajo de Vergarechea *et al.* (2019a), se ha aplicado la técnica de las tablas de contingencia, que a través de la chi-cuadrado, permiten analizar la relación entre la composición del estrato de árboles adultos (el tipo de masa) y la presencia/ausencia de las especies. Este análisis se ha realizado, en el caso de los pinos, de forma separada para los dos estadios de desarrollo, incluyendo también un “total” de regeneración de pino.

Ambas técnicas se han aplicado para los años 2011 (previamente a la corta), 2015 (mitad del proceso de regeneración) y 2018 (último inventario realizado), para así valorar si hay diferencias entre los requerimientos de las especies previa y posteriormente a la corta, o dentro del propio período post-corta.

Por último, gracias a la disponibilidad de una larga serie de datos climáticos, se relaciona la “supervivencia” del regenerado con el clima. No se puede hablar de supervivencia *sensu stricto*, pues el control del regenerado por clases de altura no nos proporciona información sobre la permanencia de un individuo en inventarios sucesivos. Es por ello que, para este análisis, se han formulado varias hipótesis y condiciones:

- Por observación en el monte, se puede concluir que los pinos clasificados en la clase 0-10 cm, o pasan a clases mayores en su segundo año o mueren. Es decir, la clase 0-10 es un indicador de la germinación del pino o de la incorporación de nuevos pimpollos

- Los “saplings” están ya establecidos, por lo que su mortalidad debería ser menor. Y el cambio interanual en el número de “saplings” permite mostrar tanto el establecimiento de “seedlings” como la propia supervivencia de “saplings”
- Como los inventarios se han hecho en otoño todos los años, para el cálculo de precipitaciones anuales se ha tenido en cuenta este hecho, de forma que el año va de noviembre a octubre en vez de enero a diciembre
- Debido a que la caída en densidad entre los años 2011 y 2012 no se puede achacar a un factor climático, sino al impacto de las cortas, este año no se analiza

El análisis se ha llevado a cabo a través del coeficiente de correlación de Spearman, enfrentando las variables Cambio_total (cambio en densidad interanual, para *Pinus pinaster* y *Quercus* spp.), Cambio_est (cambio en densidad de “saplings” interanual) y New_plant (densidad de “seedlings” anual), con diversas variables climáticas (precipitaciones mensuales, anuales, estacionales, temperaturas máximas, mínimas y medias, tanto absolutas como mensuales,...).

3. Resultados y Discusión

3.1. Caracterización de la masa forestal y corta realizada

En las Figuras 2 y 3 se pueden observar las densidades previas y posteriores a la corta, según los tres tipos de masa que se podían encontrar en la zona de actuación previamente a la intervención.

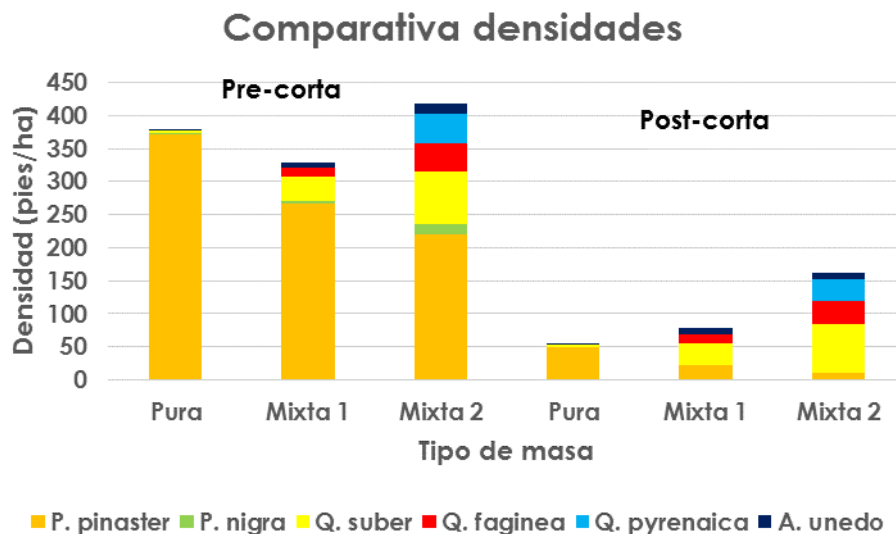


Figura 2. Comparativa entre situación previa a la corta y posterior a la misma en cuanto a densidades por hectárea

La corta a hecho en 2 tiempos, como era también de esperar, ha reducido significativamente la presencia de *Pinus pinaster* en el cantón de actuación, con densidades finales que están por debajo de los 60 pies/ha, y ha supuesto la eliminación total en el cantón de la escasa presencia de *Pinus nigra*. La corta ha sido progresivamente más intensa cuantas más frondosas había bajo cubierta, buscando su liberación efectiva de competencia. El efecto de la corta sobre las frondosas preexistentes no ha sido importante, y seguramente se deba a daños provocados en esas frondosas por los trabajos. En cuanto a las áreas basimétricas, se pasa de valores de entre 40 y 50 m²/ha a valores inferiores de 10 m²/ha, siendo *Pinus pinaster* la especie con mayor porcentaje de área basimétrica, tanto pre-corta como post-corta, a excepción

de las parcelas “Mixta 2”, donde tras las cortas es el alcornoque la especie más representada.

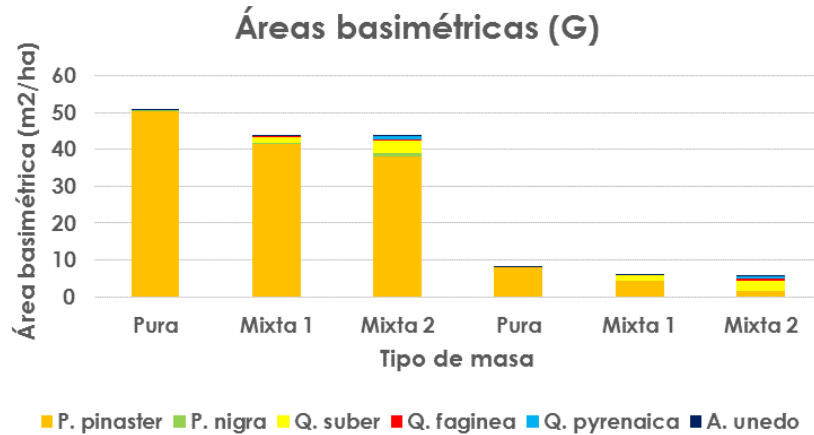


Figura 3. Comparativa entre situación previa a la corta y posterior a la misma en cuanto a áreas basimétricas por hectárea

3.2. Análisis de la regeneración inducida por los tratamientos de regeneración

En las Figuras 4 y 5 podemos observar la evolución temporal, en densidad, del regenerado de *Pinus pinaster* y *Quercus* spp.

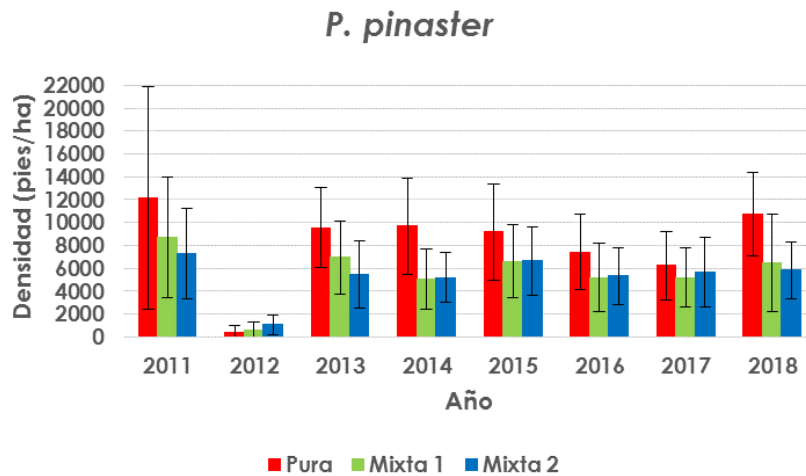


Figura 4. Densidad de *Pinus pinaster* total (en pies/ha) por tipo de masa y año

En estas figuras se puede observar cómo el efecto de la corta es muy significativo en las densidades de regenerado, sobre todo de *Pinus pinaster*. Esta reducción significativa de las densidades se puede justificar por el impacto que tuvo la corta en el cantón, con un suelo que quedó muy removido y con restos sin descomponer que impedían la llegada de la semilla al suelo.

Para ambas especies, la densidad pre-corta se está empezando a recuperar en la actualidad, por lo que se podría plantear si una actuación menos agresiva, con otro tipo de maquinaria, o una liberación menos intensa de la cubierta podrían haber sido suficientes para conseguir la regeneración en el cantón. En cuanto al género *Quercus*, si nos centramos en el último año de inventario, podemos observar como la masa “Mixta

2", la que más frondosas tenía antes de la corta, es la que tiene mayor regeneración de estas especies.

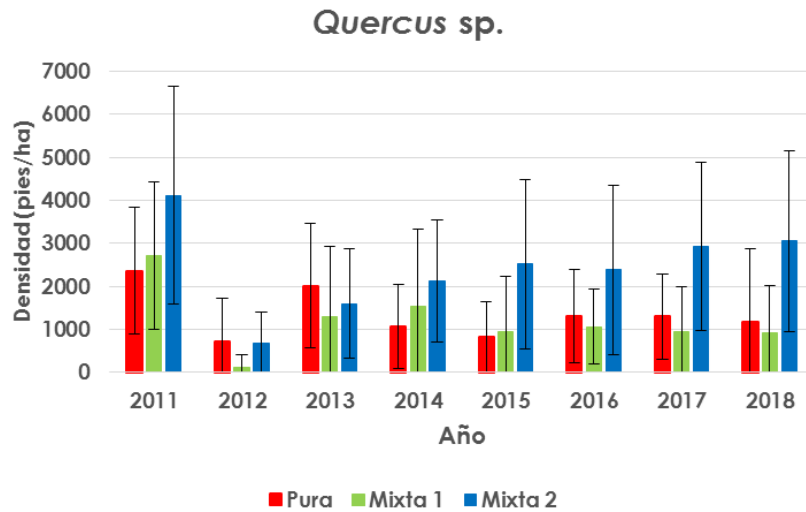


Figura 5. Densidad de *Quercus* spp. (en pies/ha) por tipo de masa y año

Si clasificamos el regenerado de *Pinus pinaster* según los estadios de desarrollo mencionados anteriormente (“seedlings” y “saplings”), podemos observar, en la *Figura 6*, cuál es la dinámica de establecimiento del regenerado de esta especie.

Frente a una situación inicial pre-corta más o menos estable con dominio de “saplings”, es decir, con un regenerado más o menos establecido, se pasa en 2012 a una situación con pocos supervivientes de la corta. En 2013 comienza la fase de colonización, con escaso regenerado establecido y dominio de “seedlings”. El proceso de establecimiento del regenerado se va produciendo en los siguientes años, donde se observa como los “saplings” van aumentando sus efectivos hasta llegar a 2018, donde hay un balance seedlings-saplings similar al observado previamente a la corta.

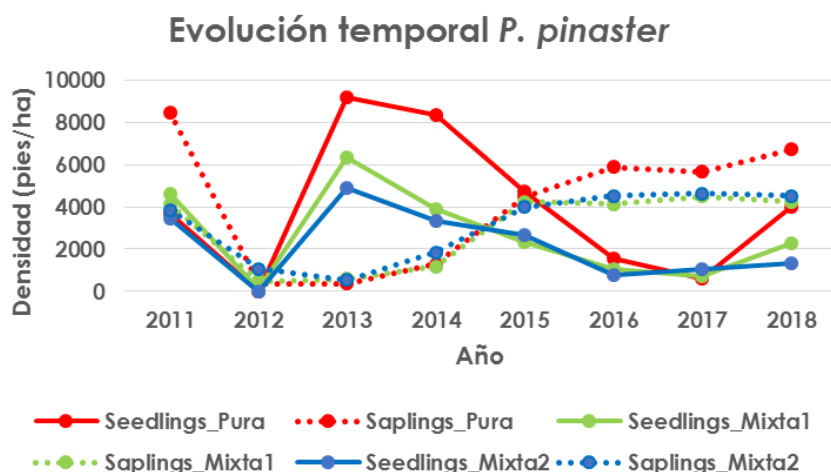


Figura 6. Comparativa entre estadios de regenerado de *Pinus pinaster* y tipos de masa, para los distintos años de inventario

Pasando al análisis a través de tablas de contingencia, aunque la técnica se aplica en los años 2011, 2015 y 2018, es sólo en este último año donde se pueden observar

influencias significativas del arbolado adulto sobre el proceso de regeneración, tal y como se puede comprobar en la *Tabla 1*.

La aplicación de tablas de contingencia en estudios de regeneración es muy limitada, con trabajos como los de Vergarechea *et al.* (2019a), además en la misma especie. En este trabajo, se encontraba relación, para los dos estadios de regenerado, entre el arbolado adulto y el regenerado. En nuestro caso, esta relación se encuentra sólo para los “seedlings” y en el último año de inventario, debido a la mayor abundancia detectada en las parcelas puras de *Pinus pinaster*, lo que viene a indicar que, una vez avanzado el proceso de regeneración, la combinación de la presencia de árboles adultos y de regenerado ya instalado hace que en las parcelas de masa pura todavía pueda entrar más regenerado, mientras que en las parcelas “Mixtas” no se aprecie esta tendencia.

Especie	Categoría	Presencia/Ausencia	Pura	Mixta 1	Mixta 2	Total	χ^2	df	p-valor
<i>P. pinaster</i>	Total	Presencia	26	16	17	59	7,9372	2	0,0189
			<i>21,2</i>	<i>18,8</i>	<i>18,8</i>				
		Ausencia	1	8	7	16			
			<i>5,8</i>	<i>5,1</i>	<i>5,1</i>				
	Seedlings	Presencia	16	7	7	30	6,5201	2	0,0383
			<i>10,8</i>	<i>9,6</i>	<i>9,6</i>				
	Ausencia	11	17	17	45				
		<i>16,2</i>	<i>14,4</i>	<i>14,4</i>					
Saplings	Presencia	22	15	15	52	2,9282	2	0,2313	
		<i>18,7</i>	<i>16,6</i>	<i>16,6</i>					
	Ausencia	5	9	9	23				
		<i>8,2</i>	<i>7,3</i>	<i>7,3</i>					
<i>Quercus spp.</i>	Total	Presencia	4	5	9	18	3,7788	2	0,1512
			<i>6,5</i>	<i>5,8</i>	<i>5,8</i>				
	Ausencia	23	19	15	57				
		<i>20,5</i>	<i>18,2</i>	<i>18,2</i>					

Tabla 1. Tabla de contingencia para las dos especies y estadios de regenerado, para el año 2018 (en negrita valores observados, en cursiva, valores estimados)

Si relacionamos especies y estadios de desarrollo a través del estudio de los coeficientes de correlación de Spearman, para el año 2015 observamos como los “saplings” están correlacionados con los “seedlings” del año anterior, lo que nos viene a indicar que se está produciendo el establecimiento del regenerado. Y para el año 2018, se observa una correlación negativa significativa entre “seedlings” y *Quercus spp.* Siguiendo lo que postula Vergarechea *et al.* (2019a), esta correlación viene a indicar diferencias en las condiciones iniciales de sombra y recursos que las especies requieren para germinar y establecerse. Estas condiciones han sido comprobadas por Ruano, Pando y Bravo (2009) para el pino y Cañellas, Prados y Montero (2003) para el alcornoque (la frondosa más abundante del arbolado adulto), concluyendo que necesitan distinto grado de sombreado (extracción de un 25% del área basimétrica para el pino, sombreado casi total para el alcornoque) y tienen diferente comportamiento ante el estrés hídrico del verano.

En cuanto a los parámetros fisiográficos, se observa una clara influencia negativa de la pendiente sobre los dos estadios de desarrollo del regenerado de *Pinus pinaster*. Tal y como comenta Muñoz Haro (2017), una mayor pendiente provoca menor crecimiento y mayor mortalidad, por la menor profundidad de suelo disponible para el desarrollo del regenerado, y también puede provocar menor germinación, al ser la semilla arrastrada

por la escorrentía superficial. Este resultado coincide también con la influencia negativa de la pendiente en la regeneración de los bosquetes sobre *Pinus pinaster* medidos por Fdez. Ramírez (2018).

Por último, relacionando la variabilidad climática interanual con la dinámica del regenerado, podemos obtener las relaciones significativas destacadas en la *Tabla 2*.

	Cambio total	<i>P. pinaster</i> seedlings	<i>P. pinaster</i> saplings
PtotalVERANO	0,95	0,81	
Psept	0,89	0,86	
TmaxAGO			-0,9
TmaxSEPT			-0,82

Tabla 2. Correlaciones significativas (nivel de significación del 95%) entre especies y parámetros climáticos

Nuestros resultados parecen evidenciar la relevancia de la sequía estival en la emergencia y supervivencia estival de los “seedlings”, pues encontramos una fuerte correlación entre la precipitación estival y la emergencia de “seedlings”. Además, individualmente, la precipitación del mes de septiembre también está correlacionada positivamente, lo cual indica también que una menor duración de la sequía estival favorece la supervivencia estival del regenerado, y seguramente induzca una incorporación otoñal de nuevos “seedlings”. Este resultado coincide con lo que encontraron Rodríguez-García *et al.* (2011) y Ruano, Pando y Bravo (2009) para poblaciones de la Meseta Norte, en las cuales la precipitación estival en el año de dispersión es fundamental para la emergencia y supervivencia estival del regenerado del año, y con lo expresado por Calama *et al.* (2017), según el cual la lluvia estival y la liberación progresiva de la cubierta, sombreando al pimpollo en las fases iniciales para luego dejarle iluminación suficiente para que crezca, son los factores fundamentales para asegurar la regeneración de *Pinus pinaster*.

Por otra parte, en cuanto a los “saplings”, encontramos que el mayor factor de cambio interanual son las temperaturas máximas de los meses de agosto (ver figura) y septiembre, resultado que coincide con lo encontrado por Vergarechea *et al.* (2019b) en la Meseta Norte, que obtenía una relación significativa entre temperaturas máximas veraniegas más bajas y mayor supervivencia de regenerado. Aunque el conocimiento sobre la supervivencia de los “saplings” es bastante limitado, se puede postular una hipótesis sobre el porqué de esta correlación significativa. Una mayor temperatura máxima, que suele estar relacionada con mayores temperaturas medias, viene a ser indicador de un verano más cálido, y por tanto, de una mayor exigencia en evapotranspiración de las plantas. En la etapa de “sapling”, la planta está en pleno crecimiento, y aprovecha para fotosintetizar el mayor tiempo posible para así mejorar su crecimiento. Al mantener los estomas abiertos más tiempo en una atmósfera que exige más humedad, pierden agua en grandes cantidades por transpiración y acaban estresándose más. Finalmente, acaban muriendo por alcanzar el punto de pérdida de turgencia.

Respecto a *Quercus* spp., no se observa ninguna correlación significativa en cuanto a factores climáticos, por lo que la variabilidad interanual puede venir provocada por otros factores, posiblemente bióticos, relacionados con la predación de la bellota.

4. Conclusiones

En relación con el primero de los objetivos que se plantearon a la hora de realizar este estudio, el tratamiento selvícola aplicado –la corta a hecho en dos tiempos- para la

regeneración de la masa permite que la regeneración de la masa principal pueda ser considerada exitosa actualmente, pues las densidades superan el límite de los 2.000 pies/ha recomendados para especies de luz, como *P. pinaster*.

Sin embargo, aunque no se tengan datos sobre la viabilidad de aquél, en 2011 la densidad de regenerado era superior al que han inducido las cortas. Esto podría ser indicativo de que, en estas condiciones de estación, más al sur que las poblaciones mesetarias de pino resinero, el pino se comporta más como una especie de media luz - media sombra, y una actuación menos agresiva, tanto en el uso de maquinaria (para respetar en mucha mayor medida la regeneración ya instalada) como en intensidad de la corta (para adaptarse al temperamento quizás matizado de la especie), podía haber conseguido más fácilmente la regeneración de la masa, y seguramente haber evitado la invasión de matorral heliófilo, que ahora puede comportarse como un medio de propagación perfecto para incendios y provocar un grado de competencia tan elevado como para poner en cuestión la viabilidad a medio y largo plazo del regenerado de las especies arbóreas.

Si pasamos al segundo de los objetivos, el efecto de la liberación efectiva de los pies de *Quercus* spp. y de *Arbutus unedo* no ha tenido todavía un efecto significativo sobre la diversificación específica de la masa. En la actualidad, donde el regenerado de estas especies era abundante ya antes de la corta, éste sigue siendo abundante, mientras que en las parcelas de pinar puro, donde podría haberse iniciado un proceso de colonización por parte de esas especies, no se ha producido de forma significativa. Las causas pueden ser diversas: que la corta no ha producido un aumento de la fructificación de los pies, que la predación a la bellota y al regenerado es un cuello de botella inasumible si no se reducen densidades de cérvidos y súidos en la zona, que el tipo de corta produce una apertura de la cubierta excesiva para la regeneración de *Quercus*,... El único efecto significativo en materia de diversificación ha sido la colonización del sotobosque por parte de matorral heliófilo, principalmente de cistáceas.

En cuanto al tercer objetivo, se han podido extraer resultados interesantes. Si nos centramos en el factor climático, podemos concluir que en el establecimiento de los “seedlings”, el factor limitante es la precipitación estival, mientras que en la supervivencia de los “saplings”, lo son las temperaturas de esa misma estación. Veranos más frescos y húmedos son particularmente favorables para el establecimiento y supervivencia del regenerado. En cuanto a los parámetros ecológicos y fisiográficos, la pendiente se establece como otro factor relevante para el establecimiento del regenerado, indicando claramente que una mayor pendiente produce una mayor escorrentía, menor profundidad de suelo, menor capacidad de retención de agua... lo que mayora los efectos de la sequía y del estrés hídrico, a la vez que provoca el arrastre de piña y piñón ladera abajo.

5. Referencias bibliográficas

Calvo, L., Santalla, S., Valbuena, L., Marcos, E., Tárrega, R. y Luis-Calabuig, E. (2008). Post-fire natural regeneration of a *Pinus pinaster* forest in NW Spain”. *Plant Ecology*, 197(1), 81–90. doi: 10.1007/s11258-007-9362-1

Canga-Líbano, E., Rodríguez-Soalleiro, R. y Vega-Alonso, G. (2003). Estudio de la regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. ssp. atlántica en el noroeste de España. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 15, 101–106.

Cañellas, I., Pardos, M. y Montero, G. (2003). Efecto de la sombra en la regeneración natural del alcornoque (*Quercus suber* L.). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 15, 107–112.

Fernández Ramírez, S. (2018). “Regeneración tras cortas a hecho por bosquetes sobre repoblaciones de *Pinus pinaster* Ait. ssp. mesogeensis en la Sierra Norte (Guadalajara)”. (Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Forestal). ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/52962/> (fecha de consulta: 29/06/2019)

Griess, V. C. y Knoke, T. (2011). Growth performance, windthrow, and insects: meta-analyses of parameters influencing performance of mixed-species stands in boreal and northern temperate biomes. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(6), 1141–1159. doi: 10.1139/x11-042

Guerra, B. y Bravo, F. (2004). Análisis y modelización de la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Ibérico Meridional. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 18, 167–172.

Madrigal, A. (1998). Problemática de la ordenación de masas artificiales en España”. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 6, 13-20.

Madrigal, J., Hernando, C., Martínez, E., Díez, M. y Guijarro, C. (2005). Regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central, España): modelos descriptivos de los factores influyentes en la densidad inicial y la supervivencia. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales*, 14(1), 36–51.

Madrigal, J., Hernando, C., Guijarro, M. y Gil, J. A. (2007). Influencia de la corta a hecho y tratamiento de residuos en la supervivencia del regenerado natural post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en el monte “Egidos” Acebo. *Actas 4th International Wildland Fire Conference*.

Montero, G. (1997). Breve descripción del proceso repoblador en España (1940–1995). *Legno Celulosa Carta*, 4, 35-42. Recuperado de <https://distritoforestal.es/historia-forestal/breve-resumen-del-proceso-repoblador-en-espana>

Montero, G., Ortega, C., Cañellas, I. y Bachiller, A. (1999). Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, fuera de serie nº 1, 175–206

Muñoz Haro, E. (2017). Dinámica inicial del regenerado en masas de pino rodeno (*Pinus pinaster* Ait.) del Paraje Natural de Interés Nacional de Poblet: recomendaciones silvícolas frente a nuevos escenarios de gestión. (Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Forestal). Universidad de Lleida.

Rodríguez-García, E., Juez, L. y Bravo, F. (2010). Environmental influences on post-harvest natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forest stands submitted to the seed-tree selection method. *European Journal of Forest Research*, 129(6), 1119–1128. doi: 10.1007/s10342-010-0399-7

Rodríguez-García, E. (2011). “Natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in mediterranean forests”. (Tesis Doctoral). Instituto Universitario de Investigación y Gestión Forestal Sostenible (Universidad de Valladolid-INIA).

Rodríguez-García, E., Gratzner, G. y Bravo, F. (2011). Climatic variability and other site factor influences on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forests”. *Annals of Forest Science*, 68(4), 811–823. doi: 10.1007/s13595-011-0078-y

Ruano, I., Pando, V. y Bravo, F. (2009). How do light and water influence *Pinus pinaster* Ait. germination and early seedling development? *Forest Ecology and Management*, 258(12), 2647–2653. doi:10.1016/j.foreco.2009.09.027

Vergarechea, M., del Río, M., Gordo, J., Martín, R., Cubero, D. y Calama, R. (2019a). Spatio-temporal variation of natural regeneration in *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* Mediterranean forests in Spain. *European Journal of Forest Research*, 138(2), 313–326. doi: 10.1007/s10342-019-01172-8

Vergarechea, M., Calama, R., Fortin, M. y del Río, M. (2019b). Climate-mediated regeneration occurrence in Mediterranean pine forests: A modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 446, 10–19. doi: 10.1016/j.foreco.2019.05.023

Yousefpour, R., Temperli, C., Jacobsen, J.B. *et al.* 2017. A framework for modeling adaptive forest management and decision making under climate change. *Ecology and Society*, 224(4): 40. doi: 10.5751/ES-09614-220440