



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio de la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. tras el incendio Aliaga-Ejulve (2009), en la finca de La Mezquitilla, en el T.M. de Cañizar del Olivar, Teruel.

Study of natural regeneration of *Pinus sylvestris* L. after fire Aliaga-Ejulve (2009), on the estate of La Mezquitilla, at the T.M. of Cañizar del Olivar, Teruel.

Autor/es

Ivan Per Salcedo

Director/es

José Manuel Nicolau

José Luis León Górriz

Universidad de Zaragoza

2018

ÍNDICE

1. Introducción.....	7
1.1. Los incendios forestales. Causas y consecuencias.....	7
1.1.1. Efectos negativos de los incendios en la vegetación.....	9
1.2. Incendio Aliaga-Ejulve 2009.....	9
1.3. El Plan Director “Plantando Agua”.....	10
1.3.1. Actuaciones del Plan.....	10
1.4. Taxonomía, morfología y distribución del <i>Pinus sylvestris</i>	11
1.5. Regeneración natural.....	12
1.6. Regeneración del pino silvestre.....	13
1.6.1. Regeneración del pino silvestre tras un incendio.....	14
1.6.2. Factores que determinan la regeneración.....	15
1.7. Justificación y objetivos.....	17
1.7.1. Objetivo general.....	17
1.7.2. Objetivos específicos.....	17
2. Material y métodos.....	18
2.1. Descripción del área de estudio.....	18
2.1.1. Localización.....	18
2.1.2. Geología y edafología.....	18
2.1.3. Climatología.....	18
2.1.4. Vegetación.....	19
2.1.5. Uso antrópico.....	19
2.2. Diseño del muestreo. Metodología.....	20
2.2.1. Diseño del muestreo.....	20
2.2.2. Materiales.....	20
2.2.3. Metodología.....	21
2.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadísticos.....	23
3. Resultados.....	25
3.1. Caracterización del estado actual del rodal 23.....	25
3.2. Regeneración del pino silvestre.....	26
3.2.1. Tasa de regeneración.....	26
3.2.2. Caracterización de los individuos.....	26
3.2.3. Regeneración según el tipo de afección de fuego.....	27
3.2.4. Regeneración según la topografía.....	29
3.2.5. Regeneración en cada tipo de fuego según la topografía.....	30
3.2.6. Regeneración según la orientación.....	31

3.2.7. Matriz de correlaciones.....	33
3.3. Establecimiento del pino silvestre.....	33
3.3.1. Tasa de establecimiento.....	33
3.3.2. Caracterización de los individuos.....	33
3.3.3. Establecimiento según el tipo de afección de fuego.....	35
3.3.4. Establecimiento según la topografía.....	36
3.3.5. Establecimiento en cada tipo de fuego según la topografía.....	37
3.3.6. Establecimiento según la orientación.....	38
3.3.7. Matriz de correlaciones.....	39
4. Discusión.....	40
4.1. Tasas de regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23 de la finca de La Mezquitilla.....	40
4.2. Papel del tipo de fuego en la regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23.....	41
4.3. Papel de la disponibilidad de agua en la regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23.....	43
5. Conclusiones.....	46
6. Bibliografía.....	47
7. Anexo.....	50
Anexo 1. Planos.....	50
Anexo 2. Estadillos de muestreo.....	51
Anexo 3. Fotografías de los tipos de parcelas.....	54
Anexo 4. Matriz de correlaciones.....	57

Agradecimientos

Me gustaría dedicar este trabajo a todas personas que me han apoyado a lo largo de la carrera y en la elaboración de este trabajo.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis directores José Manuel Nicolau Ibarra y José Luis León Górriz, gracias por vuestra ayuda y compromiso para la elaboración de este trabajo.

A mis padres, Mari Carmen y Diego, y a mi hermano Javier, por estar ahí siempre apoyando en todo momento.

Y finalmente a mis amigos más cercanos, por su constante apoyo en la elaboración de este trabajo.

Resumen

El 22 de julio de 2009, se originó un incendio forestal que afectó a las comarcas turolenses del Maestrazgo, Cuencas mineras, y Andorra Sierra de Arcos, calcinando a su paso una superficie de 7300 ha.

Este estudio se centra en estudiar la regeneración natural de *Pinus sylvestris* así como su establecimiento, atendiendo a la afección del tipo de fuego sufrido, (fuego de copa, fuego de suelo o mínima afección), así como el efecto de los factores bióticos y abióticos, en la finca de La Mezquitilla, situada en el T.M. de Cañizar del Olivar (Teruel).

Para estudiar la regeneración se muestrearon 48 parcelas de 5 x 5m, mientras que para el establecimiento fueron 49 las parcelas muestreadas, sobre un área de estudio de 72,51 ha.

Los resultados indican que la finca de la Mezquitilla presenta una regeneración de 1133 pies por ha, de los que un 56% consigue establecerse sobreviviendo más de cuatro años.

En relación a la influencia de la intensidad del incendio, se aprecia una mayor tasa de regeneración (etapa inicial) en las zonas de fuego de copa (FC) y fuego de suelo (FS) que en la zona mínimamente quemada (NQ), aunque las diferencias no son significativas estadísticamente. En la siguiente fase de establecimiento hay más individuos en la zona de fuego de copas (FC), después en la zona mínimamente quemada (NQ) y por último en la de fuego de suelo (FS), aunque de nuevo las diferencias nos son estadísticamente significativas.

La regeneración y desarrollo de *Pinus sylvestris*, resulta más efectiva en las formas de relieve importadoras (cóncavas), así como en las exposiciones a umbría. No se ha encontrado ninguna relación que ponga de manifiesto que la cobertura de herbáceas y de matorral afecten de manera directa a la regeneración y el establecimiento del pino.

Palabras clave

Pinares, Sistema Ibérico, fuego de suelo, fuego de copa, geomorfología

Abstract

July 22, 2009, originated a forest fire that affected the Teruel regions of the Maestrazgo, Cuencas Mineras and Andorra Sierra de Arcos, roasting it passes an area of 7300 ha.

This study focuses on studying the natural regeneration of *Pinus sylvestris*, as well as its establishment, according to the condition of the type of fire suffered (fire glass, fire of soil or minimum condition) as well as the effect of the factors biotic and abiotic, on the estate of La Mezquitilla, located in T.M. Cañizar del Olivar (Teruel).

To study the regeneration, 48 plots of 5x5m were sampled, while for the establishment there were 49 plots sampled, over an area of study of 72,51 ha.

The results indicate that the estate of La Mezquitilla is a regeneration of 1133 feet by hectare, of which 56% get set to survive more than four years.

In relation to the influence of the intensity of the fire, a higher rate of regeneration (initial stage) can be seen in the areas of fire's cup (FC) and fire of soil (FS) that the minimally burned area (NQ), although the differences are not significant statistically. In the next phase of establishment there are more individuals in the area of fire cups (FC), then in the minimally burned zone (NQ) and finally, in the fire of soil (FS), although again the differences we are not statistically significant.

The regeneration and development of *Pinus sylvestris*, is most effective in importing forms of relief (concave) as well as in the shade exposures. Not found any relationship that shows that coverage of herbaceous and shrub affect directly the regeneration and establishment of pine.

Keywords

Pine forest, Iberian System, Soil fire, Cup fire, geomorphology

1. Introducción

1.1. Los incendios forestales. Causas y consecuencias.

El fuego ha sido un agente constante de cambios sobre el paisaje y un agente ecológico en la evolución de los ecosistemas (Castillo *et al.*, 2003; Cerdà *et al.*, 2012).

Sin embargo, la intensidad y recurrencia de los incendios se ha incrementado en épocas recientes. La disminución del sector agrícola y un aumento de los sectores dedicados a la industria, construcción y servicios, implicó la despoblación de zonas rurales y la disminución del uso del monte por el descenso del pastoreo y el abandono de grandes superficies de cultivo. A ellos se suma el cambio de usos del suelo y el cambio climático. Todos estos factores provocan que gran parte del paisaje de la Europa mediterránea esté compuesto de comunidades vegetales en tempranas etapas de sucesión, con una gran cantidad y continuidad de combustible. Estas condiciones explican un aumento de la frecuencia de los incendios y que un pequeño incendio se pueda extender fácilmente a miles de hectáreas de campos abandonados y bosques adyacentes, produciéndose así los grandes incendios catastróficos (Pausas, 2004).

Según el origen de la fuente de ignición, las causas que generan los incendios se pueden clasificar, de manera natural o antrópica. El origen natural de los incendios se debe generalmente a la caída de rayos y en algunos países a erupciones volcánicas. Por otro lado, el origen antrópico de los incendios se puede deber a negligencias, como las quemadas agropecuarias no controladas, barbacoas, colillas de fumadores irresponsables etc. También puede originarse de manera accidental, debido a accidentes automovilísticos, ferroviarios o aéreos e incluso por la caída de líneas eléctricas. No obstante la principal causa antrópica de los incendios es de manera intencionada, es decir, tienen su origen en la utilización deliberada del fuego por parte del hombre (Vellozas *et al.*, 2010).

Según Vellozas *et al.*, (2010), se conocen tres tipos de incendios, determinados básicamente por la naturaleza de los combustibles:

- Subterráneos
El fuego se origina de manera superficial, por lo general no produce llama y emite poco humo. Se propagan consumiendo el humus y el material orgánico no incorporado al suelo, así como las raíces de los vegetales y todos aquellos combustibles que forman la turba. Se caracterizan por la velocidad de propagación lenta y el efecto letal en la vegetación y en la microfauna. Aunque no son muy comunes, cuando se presentan, son peligrosos y difíciles de controlar.

- Superficiales
En este tipo de siniestros el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno consumiendo la vegetación existente, quemando combustibles que se encuentran desde la superficie del suelo hasta 1,5 metros de altura.
Su velocidad de propagación es variable, pudiendo expandirse, desde unos pocos metros hasta varios kilómetros por hora. Son los incendios más comunes.
- Copa
Se inician en forma superficial, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan hacia arriba a través de las copas de los árboles. Generalmente, se presentan de una manera violenta y con velocidad de propagación muy alta. En este tipo de incendios el fuego consume la totalidad de la vegetación y son muy destructivos, peligrosos y muy difíciles de controlar, dañándose severamente el ecosistema donde se presentan. Ante este tipo de fuego, típicamente la vegetación dispone de mecanismos de persistencia como el rebrote, el banco de semillas y/o la dispersión de éstas.

El problema de los incendios forestales es de una gravedad extrema, tanto por su magnitud como por sus consecuencias en ocasiones devastadoras para el medio ambiente e incluso para la salud y la seguridad de las personas.

Son varios los efectos ambientales negativos que se derivan de un incendio, a continuación se enumeran algunos de ellos:

- Destrucción de la masa vegetal
- Desaparición de ecosistemas
- Pérdida y/o emigración de fauna
- Procesos erosivos
- Alteración del ciclo hídrico
- Aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera
- Desertificación

Sin embargo, los fuegos forestales forman parte de la dinámica natural de muchos ecosistemas, como el mediterráneo, modelando su diversidad. De hecho, existen especies vegetales totalmente adaptadas a los incendios. Se las conoce como pirófitas y sus poblaciones se ven favorecidas por incendios recurrentes (Pausas, 2012).

1.1.1. Efectos negativos de los incendios en la vegetación.

El fuego provoca una alteración grave en la sucesión y organización de las comunidades vegetales, modificando las condiciones físicas del medio, provocando cambios en la presencia, distribución y densidad de las especies vegetales. Los incendios forestales retrasan la sucesión de las comunidades y las devuelve al estado inicial, en los cuales la vegetación empieza a colonizar un medio desnudo. La velocidad y posibilidad de recolonización del medio depende de las condiciones físicas del mismo, principalmente en cuanto a profundidad del suelo y presencia de humedad (Vellozas *et al*, 2010).

Estos efectos negativos sobre la vegetación se trasladan al resto del ecosistema. Así la vegetación es considerada el factor más importante en el control de la escorrentía y la erosión, su destrucción por el fuego, facilita los procesos erosivos con pérdida de suelo y perturbación del régimen hidrológico. En algunos lugares, la continua pérdida de masas forestales por incendios influye en la climatología de la zona, al impedir que los bosques funcionen como excelentes reguladores de las lluvias, e incluso de las nieblas y los rocíos, así como de las temperaturas extremas de los vientos. Los incendios forestales, por tanto, inciden negativamente sobre el medio ambiente y en particular sobre la vegetación, siendo necesaria una evaluación rigurosa del daño ocasionado para emprender acciones efectivas que permitan su regeneración (Vellozas *et al*, 2010).

1.2. Incendio Aliaga-Ejulve 2009.

Contratas Ancar, en el Plan Director del proyecto "Plantando Agua" (2013), explica los pormenores del incendio. El día 22 de julio de 2009 coincidieron en la provincia de Teruel unas condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento que hacían presagiar un gran riesgo o posibilidad de generarse incendios forestales. Los datos meteorológicos de ese día tomados en la zona de las Cuencas Mineras y del Maestrazgo a las 13 horas eran temperaturas de 26-27°C, humedad relativa del aire entre 22-32 % y viento del S-SW de entre 30 y 110 km/h.

La tarde y la noche del día previo, una tormenta seca había barrido gran parte de la provincia dejando numerosos rayos que generaron incendios forestales. Fue a partir de las 11.30 horas del día 22 cuando la ocurrencia de esos rayos con las condiciones meteorológicas extremas, comenzaron a hacer altar las alarmas, y en poco más de una hora existían de forma simultánea ocho incendios forestales distribuidos por la provincia.

De ellos, tres superaron la consideración de gran incendio forestal.

- Aliaga - Ejulve, con una superficie afectada de más de 7.300ha.
- Alloza - Crivillén, que afectó a algo más de 1.580ha.
- Corbalán - Cedrillas o Castelfrío que afectó a una superficie de algo menos de 1.000ha.

Como dato decir que esos días en la provincia de Teruel ardieron 10.735,12 ha de las cuales 9.783,64 ha se calcinaron en estos tres incendios.

El incendio de Aliaga, afectó a los términos municipales de Aliaga, Cañizar del Olivar, Castel de Cabra, Ejulve, La Zoma y Villarluengo, en las Comarcas de Cuencas Mineras, Andorra-Sierra de Arcos y Maestrazgo. Algunos términos municipales sufrieron una gran afección como el de La Zoma que vió calcinado más del 70% de su territorio. El incendio no pudo ser controlado hasta el día 28 de julio. Y no fue declarado como extinguido hasta el 8 de agosto.

1.3. El Plan Director "Plantando agua"

El manantial de agua de Fuenmayor está ubicado en la particular "La Mezquitilla" en el término municipal de Cañizar del Olivar, Teruel. Aquabona gestiona este recurso natural mediante una planta embotelladora.

Aquabona con la colaboración de la Fundación de Ecología y Desarrollo (ECODES), la Universidad de Zaragoza y el Servicio de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón, decidió actuar en los bosques destruidos por el incendio para la restauración de los mismos, surgiendo así el Plan Director "Plantando Agua: Construyendo los montes del siglo XXI para un nuevo escenario de cambio climático y de cambios sociales en la comarca de las Cuencas Mineras (Teruel)".

Con este Plan Director se pretende crear un nuevo modelo de bosque del siglo XXI, con la capacidad de hacer frente al nuevo escenario de Cambio Climático y a los usos actuales y futuros de los bosques. Se persigue, reducir los impactos derivados del incendio acortando los periodos de recuperación y fomentar la recuperación de la vegetación y el paisaje frenando los procesos que amenazan la recuperación.

En el nuevo escenario de cambio climático en el que nos encontramos actualmente, se pretende diseñar un monte con comunidades forestales con mayor resiliencia a futuros incendios forestales, que tenga en cuenta el balance entre el agua verde y el agua azul y la expansión de los ungulados.

1.3.1. Actuaciones del Plan.

En la zona se han realizado trabajos para la restauración del medio natural afectado por los incendios, de cara a evitar las pérdidas de suelo y a establecer los aspectos básicos para favorecer la regeneración natural. A destacar:

- La retirada de la madera muerta y la construcción de fajinas que ayuden a la defensa de los suelos con la misión de evitar la pérdida por erosión.
- La atención a la sanidad de los rodales supervivientes y las zonas colindantes al incendio.
- La selección de especies que sean capaces de responder a futuros incendios y se adapten al actual escenario del cambio climático, respondiendo a condiciones de una mayor temperatura y una menor disponibilidad de agua, entre ellas *Pinus sylvestris*, *P. halepensis*, *Juniperus thurifera*, *J. phoenicea*, *J. oxycedrus*, *Quercus ilex* y *Q. faginea*

1.4. Taxonomía, morfología y distribución del *Pinus sylvestris*

El pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) pertenece a la clase *Pinopsida* (Burnett), orden *Pinales* (Gorozh), familia *Pinaceae* (F.Rudolphi).

Es un árbol que puede alcanzar los 35 - 40 m de altura. Presenta un potente sistema radical que le permite resistir los fuertes vientos. Su tronco es cilíndrico y recto cuando crece en espesura y en condiciones favorables de suelo y clima, pero es retorcido y tortuoso en los lugares azotados por el viento y la nieve. La corteza del tercio superior es muy delgada y se desprende en escamas apergaminadas de color rojizo. Su copa, pasa de un porte regular cónico cuando el árbol es joven a fuertemente irregular y condicionada por varios factores como la competencia por la luz dentro del bosque, el viento y la nieve, si vive aislado, etc. (Martínez García, 1999).

Las hojas, tipo acícula, rígidas y contortas, se disponen en pares sobre braquiblastos, unidas en su base por una vaina. Las flores se agrupan en inflorescencias llamadas conos: los masculinos se agrupan en la base de las ramas jóvenes mientras que los femeninos aparecen solitarios o en parejas en la parte apical de las ramas. El polen producido en gran cantidad, es pequeño y está dotado de unos sacos que le permiten flotar en el aire y así favorecer su dispersión que se realiza a través del viento. El árbol florece de mayo a junio y las piñas maduran en el otoño del año siguiente. Es una especie longeva que puede vivir hasta 500 ó 600 años (Martínez García, 1999).

El pino silvestre es el pino con un área de distribución natural más grande, ocupa 35° de latitud y 150° en longitud. El hábitat es característico del pino montano donde forma masas puras o se mezcla con otras coníferas o caducifolios. Su rango altitudinal se sitúa entre los 600 y los 1800m.

Se distribuye por Asia y por el norte y el centro de Europa. En España es la tercera especie forestal más abundante y sus bosques cubren 1.280.000 ha (Martínez-Vilalta, Banqué, Aguadé, Barba, Curiel Yuste, & Loret, 2012). Se distribuye en la mitad norte y en Sierra Nevada. En Aragón se da en el área pirenaica, en el Moncayo y en el Sistema Ibérico de Teruel (Instituto Pirenaico de Ecología, 2005).

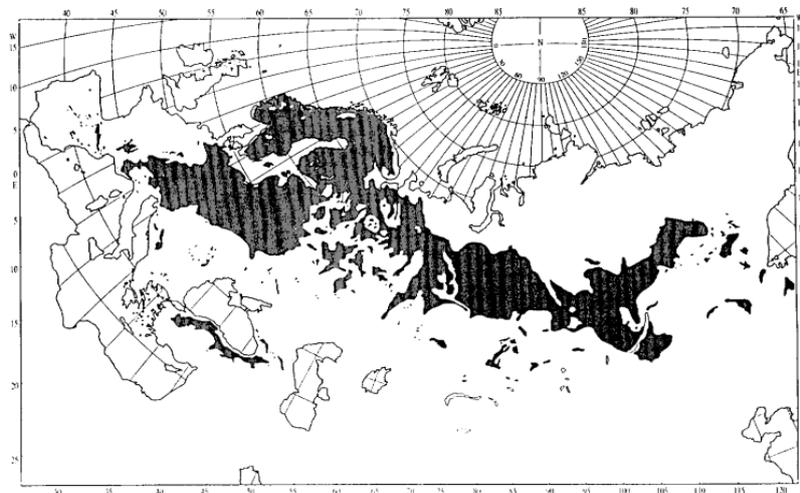


Figura 1. Área de distribución del *Pinus sylvestris* (Martínez García, 1999).

1.5. Regeneración natural

Según Harper (1977), la regeneración es "un proceso dinámico por el cual se generan nuevos individuos en la población adulta de manera que se compensan las pérdidas debidas a la mortalidad natural" (Figura 2).

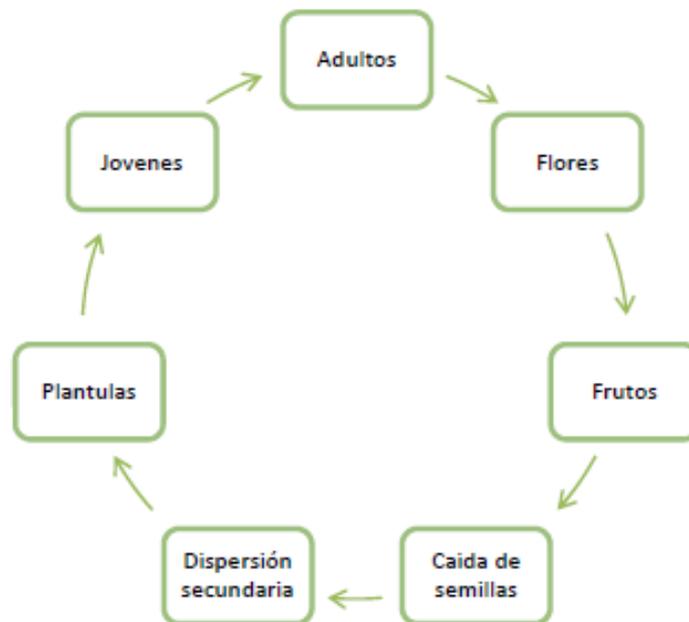


Figura 2. Ciclo de regeneración por semillas Aroca (2016).

Cuando una zona queda desprovista de vegetación, se pone en marcha el proceso de sucesión vegetal, que comienza por la fase de colonización. La colonización de una zona depende de tres grandes 'filtros ecológicos' que determinan el ensamblaje de las especies (Bochet *et al.*, 2011):

1º. La disponibilidad de semillas. La llegada de semillas dependerá de si existe o no un banco de semillas en las zonas circundantes que de origen a la comunidad vegetal deseada. La posterior dispersión de las semillas puede ser a través de distintos vectores como el viento, el agua o los animales.

2º. Las condiciones del medio (factores abióticos). Una vez que las semillas llegan al suelo, tienen que superar las condiciones del medio, lo que se conoce como, filtro abiótico. Si las condiciones son favorables, las semillas conseguirán germinar y desarrollarse hasta convertirse en un individuo adulto.

3º. Las interacciones planta-planta (factores bióticos). La interacción entre plantas puede ser positiva como la facilitación de una especie por otra que le ayuda a establecerse en el medio o negativa como la exclusión de una especie por la presencia de especies competidoras, que compiten por el espacio y los recursos.

Según Pardos *et al.* (2012), el incremento del estrés abiótico conlleva una potenciación del efecto de la facilitación, y así, mejora el crecimiento y supervivencia de las plántulas que coexisten.

1.6. Regeneración del pino silvestre

La regeneración del pino silvestre comienza con la formación de los primordios florales (Figura 3), casi un año antes de la floración, y abarca hasta el establecimiento y desarrollo de las plántulas (Kupila-Ahvenniemi, 1985; González-Martínez & Bravo, 1999). Los primordios masculinos se forman en las partes basales de las yemas terminales situadas en las ramas laterales mientras que los femeninos, con preferencia, se forman en las yemas apicales de las ramas superiores (González Martínez & Bravo, 1999).

En condiciones naturales la pérdida de viabilidad de la semilla es rápida, por lo que la germinación se produce en el primer año de su caída (González Martínez & Bravo, 1999). El éxito o fracaso de la germinación dependerá de factores edáficos, naturaleza, composición química y estructura física del suelo (Aroca, 2016). La mortalidad del regenerado de pino silvestre suele ser alta hasta el tercer o cuarto año (Castro *et al.*, 2004), tras los cuales se considera establecido.

En estas primeras etapas del crecimiento, el desarrollo se ve muy influido por los factores bióticos y abióticos, además de por la competencia tanto inter como intraespecífica, factores que marcan de forma primordial las sucesivas etapas de la regeneración de una masa arbórea (González Martínez & Bravo, 1999; Montero *et al.*, 2017).

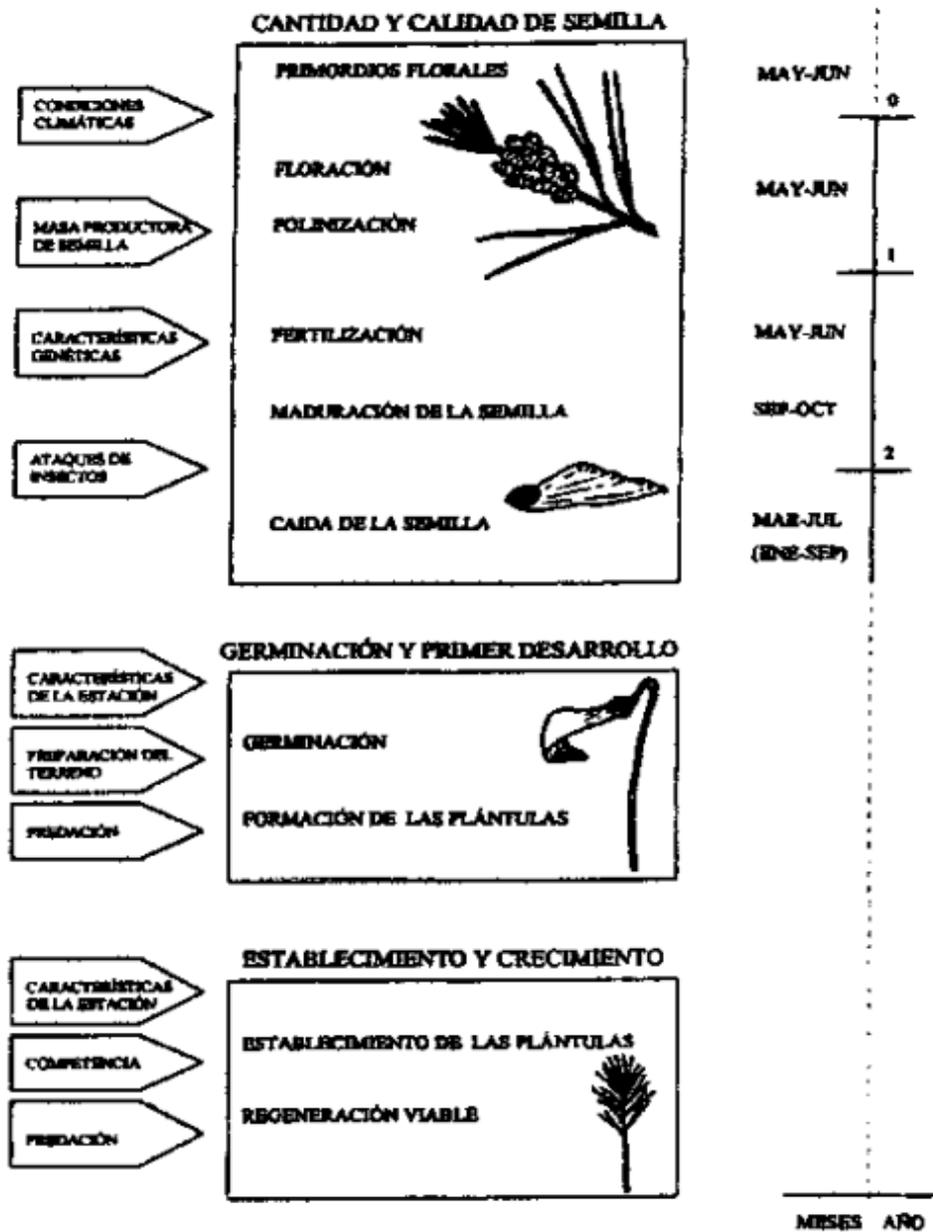


Figura 3. Fases y principales factores de la regeneración natural del pino silvestre (González-Matínez & Bravo, 1999).

1.6.1. Regeneración del pino silvestre tras un incendio

El fuego es el principal factor que afecta la dinámica de diversas especies de los ecosistemas mediterráneos (Natham, 1999). Los incendios forestales afectan especialmente al pino silvestre debido a su producción de resina y hojarasca fácilmente inflamable y a que forma un toldo sobre la superficie del suelo propiciando la sequedad (Lecomte *et al.*, 2006).

El pino silvestre posee varios rasgos de adaptación al fuego:

- Una corteza gruesa
- Un sistema radicular profundo
- Capacidad de regeneración rápida en lugares estériles con suelo mineral.

Pese a estas adaptaciones al fuego los individuos jóvenes no pueden soportar incendios frecuentes debido a que no tienen tiempo de desarrollar dichas características (Hille & Den Ouden, 2004).

1.6.2. Factores que determinan la regeneración

- **Dispersión de semillas**

El mecanismo fundamental para la dispersión de la semilla del pino silvestre es el viento (anemocoria). La intervención de la fauna también puede ser beneficiosa e incluso esencial en los procesos de polinización y dispersión de la semilla (Aroca, 2016).

La dispersión de la semilla puede alcanzar 500 m pero pocas se alejan más de 30 m y el 75 % de las semillas caen en los 18 m más próximos al árbol (Booth, 1984).

- **Germinación, desarrollo y establecimiento**

En un estudio de Núñez & Calvo(1997) se estudió el efecto de temperatura y tiempo de exposición sobre la germinación de las semillas de pino silvestre. Estos autores encontraron que las temperaturas superiores a 150°C actúan negativamente sobre la germinación de las semillas, mientras que temperaturas comprendidas entre 70 y 130°C, no presentan diferencias claras en las tasas de germinación.

El crecimiento del primer año está más influido por las condiciones ambientales y los efectos maternos de las semillas, mientras que en años posteriores se ha observado un mayor control genético (Agúndez *et al.*, 1993).

Los factores que influyen en el establecimiento y crecimiento del regenerado se exponen en factores bióticos y abióticos.

- **Factores abióticos**

Los aspectos que son los principales condicionantes para la germinación y primer desarrollo de los regenerados de pinos silvestre son la humedad y la luz (Montero *et al.*, 2017).

La sequía es uno de los aspectos que más condiciona la regeneración de los pinos silvestres, especialmente los mediterráneos (Rojo & Montero, 1996). Según Montero (1994), la humedad es un factor básico para entender el establecimiento natural del regenerado.

La luz representa otro factor de gran importancia. La radiación global afecta a la temperatura, fotosíntesis y tasa de crecimiento de las plantas y depende, a su vez, de la orientación, latitud y pendiente (González-Martínez & Bravo, 1999).

La topografía también es otro factor que cobra gran importancia para favorecer el regenerado, y posterior desarrollo de las plántulas de pino silvestre. Pina (2017) llegó a la conclusión de que las zonas importadoras favorecen tanto la regeneración de pino como de matorral.

- **Factores bióticos**
 - **Competencia intraespecífica**

La competencia intraespecífica se produce tanto de forma directa (sombreo, competencia por agua y nutrientes, etc.) como indirecta. A pesar de que la especie tiene capacidad de adaptarse a crecer bajo cubierta, el sombreado es el factor más influyente de competencia intraespecífica en el pino silvestre (Hari *et al.*, 1982).

En estudios realizados en masas de pino silvestre en Finlandia encontraron un gradiente de influencia del árbol adulto en el crecimiento y supervivencia del regenerado (Pukkala, 1987; Kuuluvainen *et al.*, 1993; Niemistö *et al.*, 1993, todos en González-Martínez & Bravo, 1999). En los primeros metros alrededor del árbol adulto se producen menores crecimientos y probabilidades de supervivencia, llegando en algunos casos a un 30-40% menos en número de brinzales en los 10 primeros metros.

- **Competencia interespecífica**

La vegetación herbácea condiciona en mayor medida el primer desarrollo de las plántulas, pero también juega un papel importante durante el establecimiento al aumentar la competencia por la luz, los recursos hídricos y los nutrientes (Montero *et al.*, 2017).

Las plántulas de pino compiten por su supervivencia con especies herbáceas, matorrales y leñosas. Rubio, 1987; Santos, 1987 y Morillo, 1987 encontraron relaciones significativas entre malas regeneraciones de pino silvestre y la presencia de retamas, genistas, zarzas o rebollos en el monte Cabeza de Hierro de Madrid. Además la vegetación leñosa compite por el espacio produciendo en algunos casos mortalidad por ahogado de los brinzales (Montero *et al.*, 2017).

Pina (2017), llegó a la conclusión de que la cobertura de herbáceas no tiene efectos sobre la regeneración del pino, además de que existe una asociación positiva entre la cobertura de matorral y la densidad de pinos regenerados, su altura y su diámetro basal.

1.7. Justificación y Objetivos

La finca de La Mezquitilla -que incluye al rodal 23 del Plan Director Plantando Agua- constituía un enclave de alto valor ecológico antes del incendio, que sólo fue parcialmente afectado por el fuego. En concreto, albergaba uno de los pinares de pino silvestre con acebo mejor conservados del Sistema Ibérico, incluido en el listado de Espacios de Flora Singular de la Provincia de Teruel. El estudio de la regeneración del pinar en este enclave resulta de gran interés práctico y científico para su gestión forestal.

1.7.1. Objetivo general

- Estudiar la regeneración natural de *Pinus sylvestris* en la finca de La Mezquitilla (rodal 23) tras el incendio de 2009.

1.7.2. Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad regenerativa dependiendo del tipo de fuego (de suelo o de copa).
- Determinar los factores abióticos y bióticos que controlan la regeneración.
- Realizar una caracterización del estado actual del rodal 23

2. Material y métodos

2.1. Descripción del área de estudio

Para realizar las actuaciones de revegetación, el plan director elaboró un estudio previo para la zonificación del terreno afectado por el plan. El área de estudio del proyecto fue dividida en lo que se conoce como "rodales". Para cada rodal se plantearon y se describieron las actuaciones de gestión y restauración a realizar en cada uno de ellos.

A continuación, se detallan las características más relevantes de la zona de estudio, con el objetivo de tener un mejor conocimiento de las condiciones abióticas y bióticas de la misma.

2.1.1. Localización

El área de estudio donde se ha desarrollado este trabajo se encuentra ubicada en el término municipal de Cañizar del Olivar, Teruel. Se ha estudiado el monte de utilidad pública TE-3144, más concretamente el rodal 23, mostrada en el Mapa. (Anexo 1)

El rodal 23, con una superficie de 72,51 ha, se sitúa en la finca particular de La Mezquitilla. Se trata de un rodal de pinar natural de pino silvestre, situado entre 1.325 y 1.600 metros de altitud, con pendiente moderada y con una orientación noroeste, es decir, una orientación de umbría (Contratas Ancar, 2013). Para este rodal se decidió como actuación la evolución natural de su regeneración y el control de ella.

2.1.2. Geología y edafología

La mayor parte de la superficie está dominada por litología de calizas, calizas con intraclastos y margas en las zonas más bajas, mientras que en las zonas de mayor altitud presenta litología de dolomías, calizas noduladas y margas.

En cuanto a los suelos en la zona de estudio, su textura predominante es franca. Predominan los suelos pedregosos, determinados por el material origen. Son suelos con un contenido de materia orgánica entre moderado a fuertemente húmico(Contratas Ancar, 2013).

2.1.3. Climatología

El clima de la zona quemada es submediterráneo continental frío, que domina toda la zona central de la provincia de Teruel. Según datos recogidos, en un periodo comprendido desde 1996-2013, por la estación meteorológica La Mezquitilla (Aquabona), estación más cercana al área de estudio, la temperatura media anual es de 10,5°C, con una temperatura máxima absoluta de 35,7°C y una temperatura mínima absoluta de -14,9°C, habiendo una precipitación media anual de 553,9 mm.

Dentro de las precipitaciones es destacable el régimen de tormentas de la comarca, debido a su gran importancia como factor desencadenante de incendios forestales. Por otro lado, en ocasiones, el máximo de precipitación del otoño es más acusado que el primaveral, marcando así la mayor influencia de las depresiones otoñales mediterráneas, presentando una importante sequía veraniega que queda mitigada en parte por las tormentas, muy numerosas y, a veces, intensas en estos meses estivales (Contratas Ancar, 2013).

En la figura 4, se representa la temperatura y las precipitaciones medias por meses en la estación meteorológica de La Mezquitilla, en el periodo entre 1996 al 2013.

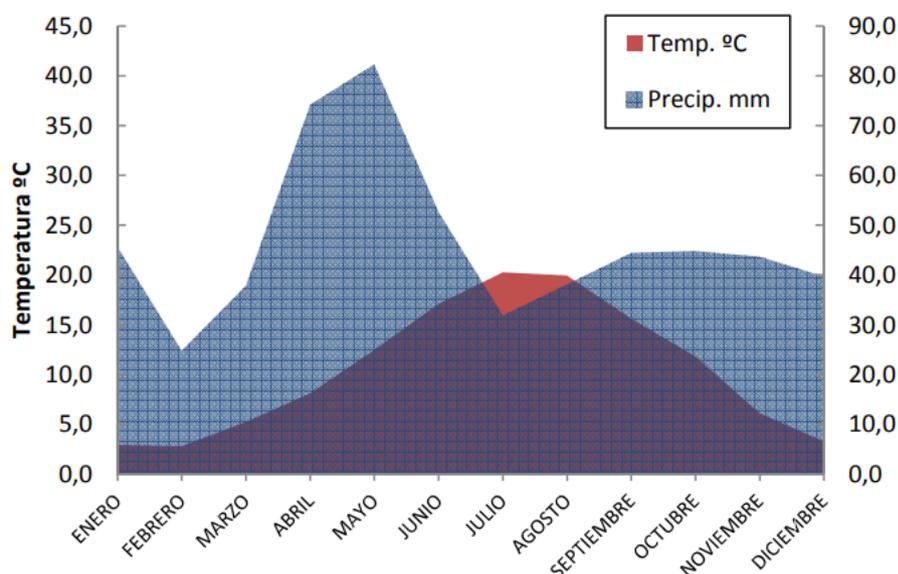


Figura 4. Climograma de la estación meteorológica de La Mezquitilla, entre los años 1996 y 2013 (Contratas Ancar, 2013).

2.1.4. Vegetación

El pino silvestre predomina en el área de estudio, mezclado con pies de acebo (*Ilexaquifolium L.*) alojados bajo la protección de este pinar. Aparece también un estrato arbustivo con ejemplares de *Amelanchier ovalis*, *Juniperus communis*, *Crataegus monogyna*, *Rhamnus saxatalis*, *Thymus vulgaris*, entre otras especies (Fabregat y López, 1995).

En el estrato herbáceo y de matorral predominan *Festuca gautieri*, *Teucrium pyrenaicum* subsp *quarensis*, *Hepatica nobilis*, *Helleborus foetidus* y *Paeonia officinalis* entre otras.

En la zona baja de barranco con parcelas aterrazadas de antiguos banales, existen especies como rosales silvestres (*Rosa canina*), majuelo (*Crataegus monogyna*) y aliagas (*Genista scorpius*)

2.1.5. Uso antrópico

Antiguamente esta zona estaba sometida a la explotación ganadera, tanto bovino como ovino. Actualmente, el aprovechamiento de la finca particular de La Mezquitilla se centra en la explotación del manantial de agua de Fuenmayor, a través de la compañía Aquabona habiéndose abandonado su uso ganadero.

2.2. Diseño del muestreo. Metodología.

2.2.1. Diseño del muestreo

Las distintas formas en las que el fuego afectó a la zona de estudio debido a la topografía y a la orientación del terreno, nos permitió realizar un muestreo sectorizado teniendo en cuenta los tipos de fuego.

Siguiendo nuestro criterio, establecimos tres áreas según el tipo de afección de fuego:

- Áreas afectadas por fuego de copa (FC). Afección total, sin dosel arbóreo.
- Áreas afectadas por fuego de suelo (FS). Acebos y matorral quemados, muchos pinos permanecen dando cobertura al terreno.
- Áreas mínimamente afectadas (NQ).

En cada uno de estos sectores se aplicó un muestreo aleatorio. Se generaron puntos al azar utilizando la hoja de cálculo EXCEL mediante el comando "ALEATORIO.ENTRE". Cada punto corresponde con coordenadas UTM (ETRS89), que constituyeron el vértice izquierdo de cada parcela de muestreo. Las coordenadas UTM para el eje X comprenden valores entre 698083 y 699253, y para el eje Y con valores comprendidos entre 4514575 y 4515929. (Anexo 1)

De esta forma se estudiaron 48 parcelas, que coincidían con los puntos generados aleatoriamente, repartidas en 16 de FC, 16 de FS y 16 de NQ. Cada parcela tiene una superficie de 5m x 5m (25 m²).

Además de estudiar las parcelas, se realizaron transectos entre las mismas, con el fin de caracterizar la zona, y analizar cómo se encuentra en la actualidad, cuantificando los pies de pino y acebos encontrados. Todos los transectos tienen una anchura de 90 cm, mientras que de largo depende de la distancia entre parcelas, con ello obtendremos la superficie de cada transecto. En total fueron realizados 28 transectos cubriendo 2.571,2 m².

2.2.2. Materiales

Para poder realizar el trabajo de campo fue necesario disponer de ciertos materiales, enumerados a continuación:

- GPS
- Pequeña azada
- 2 cintas métricas de 50 m
- 4 estacas para delimitación esquinas parcela
- Flexómetro
- Calibre

2.2.3. Metodología

Las jornadas de trabajo de campo para el estudio de la regeneración del pino silvestre se realizaron entre los días 25 de junio y 29 de junio.

Con la ayuda del GPS, nos fuimos dirigiendo a cada uno de los puntos, los cuales se marcaba con una estaca en la esquina superior izquierda. Una vez ya en el sitio marcado, se estudiaron las siguientes variables (Tabla 1).

Variable	Unidad de medida	Criterio de medida
Afección por el fuego	FC, FS y NQ	Según nuestro criterio, dependiendo del nivel de incidencia del fuego.
Pendiente	%	A partir de un modelo digital del territorio, con la utilización de QGis, se creó una capa de pendiente.
Topografía	Importador o exportador	Según nuestro criterio, observando la forma del terreno.
Orientación	Solana o umbría	Orientación dada por el GPS.
Pedregosidad	%	Observando la superficie de la parcela, según nuestro criterio.
Cobertura total	%	Suma total de la cobertura de herbáceas y cobertura de matorral.
Cobertura matorral	%	Según nuestro criterio.
Altura media matorral	%	Con un flexómetro, se midió la altura de los matorrales encontrados en la parcela.
Cobertura herbáceas	%	Según nuestro criterio.
Altura media herbáceas	%	Se seleccionaron 10 puntos aleatoriamente en la parcela y se midió la altura de las herbáceas con la ayuda de un flexómetro.
Cobertura de madera muerta	%	Según nuestro criterio, fijándonos en la cantidad de madera muerta en la parcela.

Tabla 1. Unidades de medida y método de medición de cada uno de los factores.

El estudio ha tenido en cuenta dos etapas en la recuperación del pinar, por un lado, la fase de regeneración y por otro la de establecimiento. La primera engloba el total de pinos detectados y, por ello, analiza el periodo total tras el incendio. La segunda se centra únicamente en los pinos de 4 o más años que se considera han superado la fase juvenil. La mayoría de la mortalidad tiene lugar en esta etapa juvenil, que finaliza en el momento en el que se puede considerar que el regenerado está establecido y tiene una tasa de mortalidad baja (Aroca, 2016). Según Castro *et al.*, (2004), la tasa de mortalidad del regenerado de pino silvestre suele ser muy alta hasta el cuarto año.

Para determinar las características de los pinos regenerados y de los pinos establecidos se midieron las siguientes variables (tabla 2).

Variable	Unidad de medida	Criterio de medida
Nº total de pinos regenerados/establecidos	Numérica	Contar el número de pinos regenerados/establecidos presentes en la parcela.
Altura	cm	Con la ayuda del flexómetro.
Diámetro basal	cm	Con la ayuda de un calibre.
Edad	Años	En base al número de entrenudos presentes en el tallo. La distancia entre cada entrenudo se tomó como un año.

Tabla 2. Unidades de medida y método de medición de las características de los pinos.

Además de caracterizar las parcelas, se realizaron transectos entre las mismas donde se cuantificaron los pies de pino detectados con el fin de caracterizar la zona de La Mezquitilla. Los parámetros estudiados en cada transecto son (tabla 3):

Variable	Unidad de medida	Criterio de medida
Nº total de pinos	Numérica	Se contaban los pinos observados, distinguiendo entre pinos que habían sido afectados por el fuego y pinos que no se habían visto afectados.

Tabla 3. Unidades de medida y método de medición empleados en las variables de los transectos.

2.2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico

El primer paso para el tratamiento estadístico fue digitalizar los datos que obtuvimos en el muestreo. Los datos fueron introducidos en una hoja Excel. Se hicieron dos hojas; una para la regeneración del pino donde se introdujeron los datos tomados para todos los pinos encontrados y otra para el estudio del establecimiento del pino silvestre donde únicamente fueron introducidos los pinos con edad igual o superior a 4 años. A continuación se especifica el carácter de cada variable (tabla 4):

Variable	Tipo de variable
Afección de fuego	Cualitativa
Altitud	Cuantitativa
Pendiente	Cuantitativa
Topografía	Cualitativa
Orientación	Cualitativa
Pedregosidad	Cuantitativa
Cobertura total	Cuantitativa
Cobertura matorral	Cuantitativa
Altura media matorral	Cuantitativa
Cobertura herbáceas	Cuantitativa
Altura media herbáceas	Cuantitativa
Cobertura madera muerta	Cuantitativa
Nº pinos regenerados	Cuantitativa
Altura	Cuantitativa
Diámetro basal	Cuantitativa
Edad	Cuantitativa

Tabla 4. Carácter de cada variable.

Mediante estadística descriptiva, se calcularon la media y la desviación estándar de las variables cuantitativas. En el estudio e la regeneración se tuvieron en cuenta todas las parcelas muestreadas, mientras que para estudiarla altura, el diámetro basal y la edad de los pinos, se tuvieron en cuenta los pinos regenerados en el total de las parcelas. Para las cuatro variables descritas, también se tuvo en cuenta cada uno de los niveles de variable cualitativa. Para analizarlas variables cualitativas se construyeron tablas de contingencia.

Previo al análisis se testó la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la modificación de Lilliefors, con un nivel de confianza de $\alpha=0,05$. Las variables de estudio, nº de pinos regenerados, altura, diámetro basal y edad, presentan un nivel de significancia inferior a 0,05, por lo que no siguen una distribución normal, por lo que se analizaran mediante test no paramétricos.

Los test no paramétricos se han seleccionado en función del número de casos o tratamientos para cada variable. Se ha aplicado la prueba de Mann-Whitney, con un nivel de confianza $\alpha=0,05$, para estudiar las variables que tengan dos casos, mientras que para estudiar variables que presenten k casos, se ha aplicado la prueba de Kruskal-Wallis, con un nivel de confianza $\alpha=0,05$, utilizando la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni para la separación entre niveles de la variable.

A continuación se muestra la prueba estadística que se realizó para cada variable (tabla 5):

Variable	Tipo de variable	Prueba estadística
Afección de fuego	Cualitativa	Kruskal-Wallis
Topografía	Cualitativa	Mann-Whitney
Orientación	Cualitativa	Mann-Whitney

Tabla 5. Prueba estadística realizada para cada variable.

Para estudiar las correlaciones entre variables cuantitativas se aplicó el test de correlación de Spearman para variables no paramétricas, con un nivel de confianza $\alpha=0,05$.

El tratamiento y análisis estadístico de los datos tomados se realizó mediante el programa XLSTAT 2018 desarrollado por Addinsoft.

3. Resultados

En la tabla 6, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la regeneración y el establecimiento del pino para facilitar la comprensión de los mismos, que después se desarrollan más detalladamente.

En color verde se muestran las celdas con relaciones significativas, en color naranja las celdas que no presentan diferencias significativas. Entre paréntesis se muestran la separación de los niveles de la variable analizada por la prueba de Dunn.

	Tipo de fuego			Topografía		Orientación	
	FC	FS	NQ	Exportadora	Importadora	Solana	Umbría
FASE DE REGENERACIÓN (total de pinos)							
Tasa de regeneración(pies/ha)	1375	1275	750	468	2147	177	1353
Altura (cm)	30,9 (B)	28,2 (A)	48,2 (B)	41,4	30,4	27,6	33,9
Diámetro basal (cm)	1,2 (B)	0,6 (A)	1,1 (B)	1,0	1,0	1,0	1,0
Edad (años)	3,7 (B)	3,0 (A)	4,9 (C)	4,2	3,5	4,2	3,7
FASE DE ESTABLECIMIENTO (pinos \geq 4 años)							
Tasa de establecimiento (pies/ha)	975	329	625	293	1178	177	740
Altura (cm)	34,8 (A)	58,7 (B)	54,4 (B)	45,7	45,3	35,4	46,2
Diámetro basal (cm)	1,5	1,3	1,2	1,3	1,4	1,1	1,4
Edad (años)	4,2 (A)	5,2 (B)	5,4 (B)	4,9	4,7	4,5	4,8

Tabla 6. Resumen de los resultados obtenidos.

3.1. Caracterización del estado actual del rodal 23

La caracterización para estudiar el estado actual del rodal 23 se llevó a cabo mediante la realización de transectos. Se muestreó un área total de 2571,2 m², es decir, se estudió una superficie de 0,3 ha.

En el muestreo se contabilizaron un total de 253 pinos. El rodal 23 presenta actualmente, una densidad de pinos de 984 pies/ha. Se contabilizaron 134 pinos no afectados por el fuego, lo que supone un 53%, y 119 pinos, afectados por fuego de suelo, un 47%.

3.2. Regeneración del pino silvestre

3.2.1. Tasa de regeneración

El rodal 23, tiene un área de 78 ha. En este estudio se ha muestreado 0,12 ha, es decir, un 0,15% del total de superficie. Se han detectado un total de 136 pinos, medidos en las 48 parcelas.

El pino silvestre en el rodal 23 presenta una tasa de regeneración media de 1133 pies/ha.

3.2.2. Caracterización de los individuos

En este apartado se muestra la media y la desviación estándar de las características de los pinos detectados en el total de las parcelas, ver tabla 7.

N=136	Media	Desviación estándar
Altura (cm)	33,7	23,3
Diámetro basal (cm)	1,0	0,8
Edad (años)	3,7	1,5

Tabla 7. Características medias del total de los pinos regenerados medidos.

Como se puede observar en la Figura 4, los pinos regenerados más abundantes presentan una altura comprendida entre 21 y 30 cm. En cuanto al diámetro basal, Figura 5, la mayoría de pinos regenerados presentan un diámetro basal bajo entre 0.1 y 1 cm. Si hablamos de la edad, Figura 6, la mayoría de pinos regenerados tienen una edad de 4 años, aunque se han encontrado casos de pinos con una edad de 7 años, de manera que la regeneración empezó 2 años después del incendio.

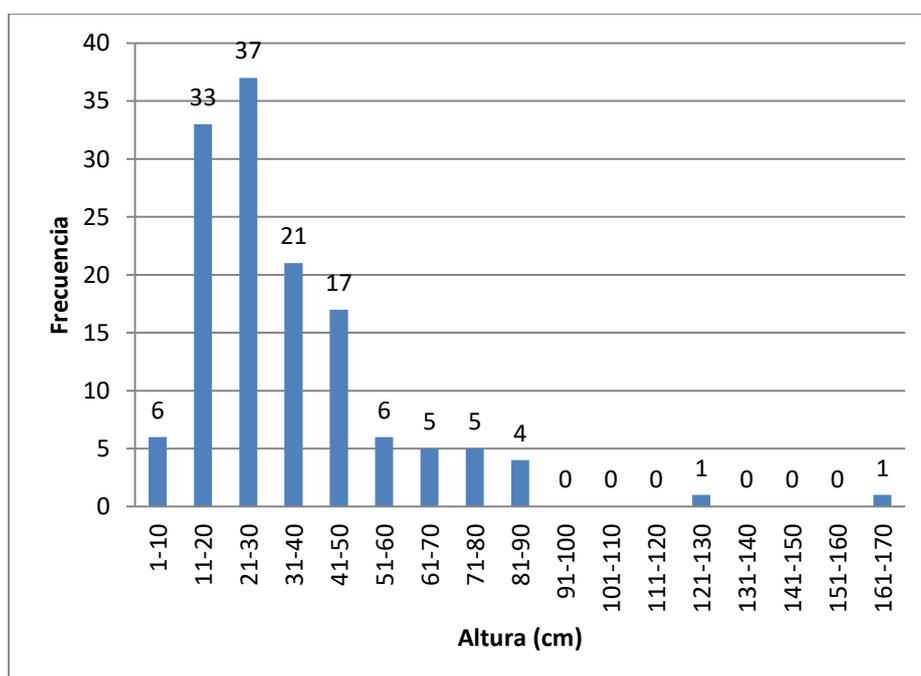


Figura 4. Frecuencia de la altura del total de pinos regenerados.

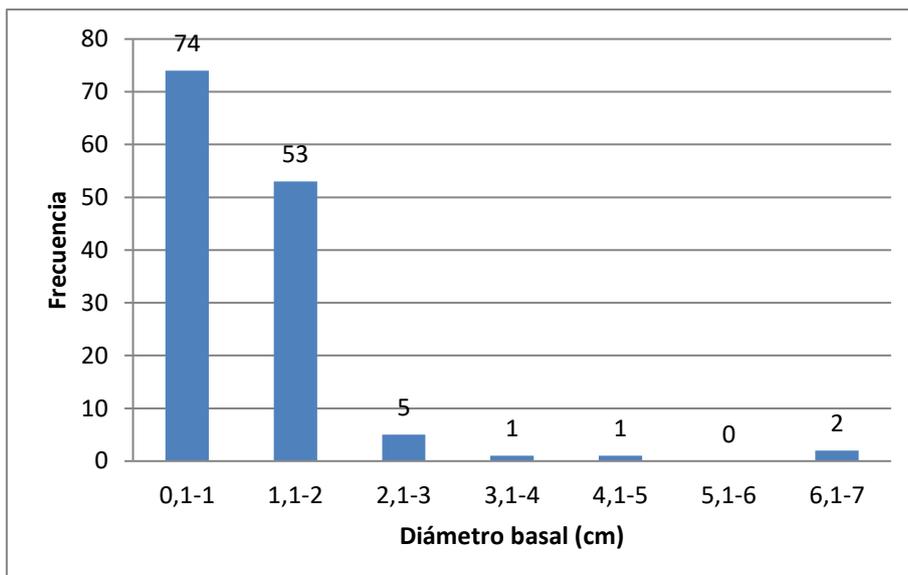


Figura 5. Frecuencia del diámetro basal del total de pinos regenerados.

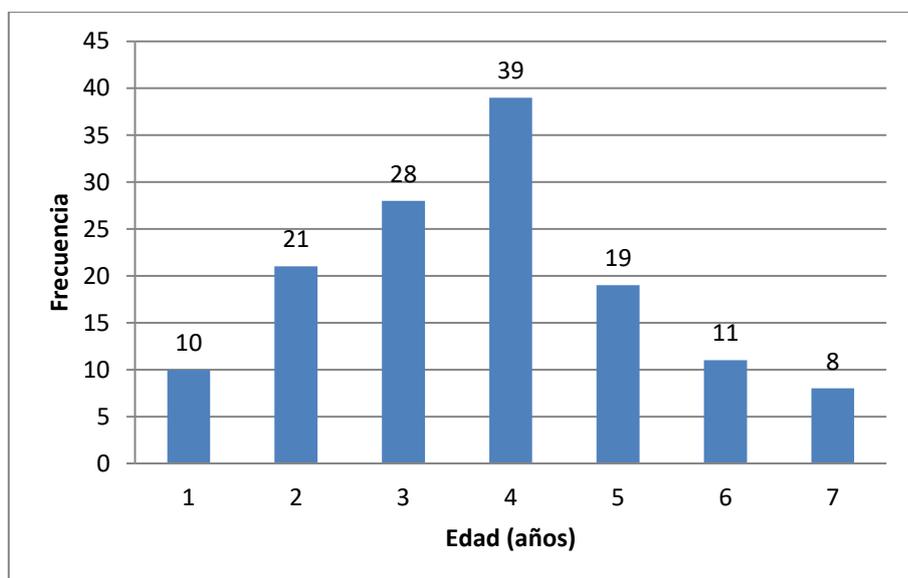


Figura 6. Frecuencia de la edad del total de pinos regenerados.

3.2.3. Regeneración según el tipo de afección de fuego.

Para evaluar el efecto del tipo de afección por el fuego sobre la regeneración del pino silvestre se realizó la prueba de K-W.

El resultado de la prueba de K-W indica que no existen diferencias significativas entre niveles de la variable afección por el fuego. Sin embargo, si atendemos a las tasas medias de regeneración obtenidas, sí parece observarse una mayor tasa en zona de fuego de copa ($n:16$; 1375 pies/ha \pm 2028,9) y en zona de fuego de suelo ($n:16$; 1275 pies/ha \pm 2082,1) que en las parcelas ubicadas en zonas con mínima afección de la vegetación por el incendio, donde es bastante inferior ($n:16$; 750 pies/ha \pm 1337,6).

En cuanto al efecto de la afección del fuego sobre las características de los pinos regenerados, se analizó mediante la prueba de K-W.

Los resultados de la prueba de K-W, se muestran en la tabla 8. Según los resultados obtenidos, sí que existen diferencias significativas entre la altura, diámetro basal y edad de los pinos regenerados en función del tipo de afección por el fuego. La prueba de Dunn nos dice que en altura y en diámetro basal, solo los pinos de fuego de suelo son significativamente menores; sin embargo, en el caso de la edad todos los niveles se separan, siendo los NQ los de mayor edad seguidos por FS y FC, que presenta los pinos con edad media más joven. Los datos muestran valores más altos en altura y en edad para los pinos que se regeneran en áreas mínimamente afectadas por el incendio, ver figura 7, mientras que los pinos regenerados en zona de fuego de suelo presentan un diámetro basal más alto.

Variable	N	Valor K	P-value	Prueba de Dunn		
				FC	FS	NQ
Altura (cm)	136	21,49	< 0,0001	B	A	B
Diámetro basal (cm)	136	30,60	< 0,0001	B	A	B
Edad (años)	136	30,456	< 0,0001	B	A	C

Tabla 8. Prueba K de Krukal-Wallis para altura, diámetro basal y edad de los pinos regenerados en función del tipo de afección de fuego.

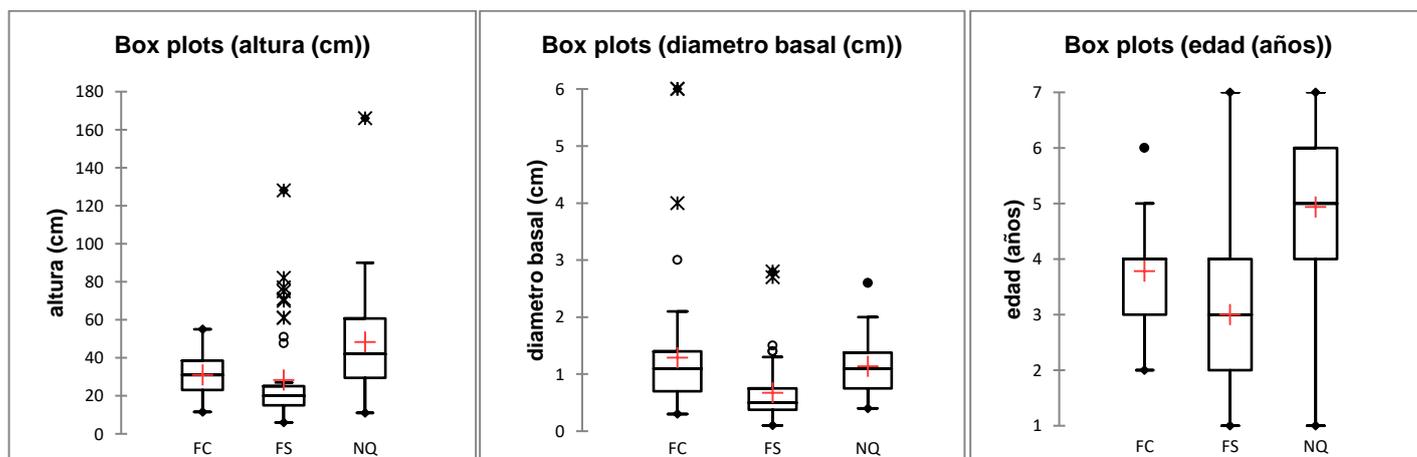


Figura 7. Diagramas de cajas de las características de los pinos regenerados en función del tipo de afección por el fuego.

3.2.4. Regeneración según la topografía.

Con fin de evaluar el efecto de la topografía sobre la regeneración del pino silvestre se realizó la prueba de Mann-Whitney. Planteamos como hipótesis ecológica que la zona importadora presentara mejores valores de regeneración de pino silvestre respecto a la zona exportadora.

El resultado de la prueba de M-W indica que existen diferencias significativas (U de Mann-Whitney: 143,5; n: 48; p: < 0,001) entre niveles de la variable topografía. Se acepta la hipótesis ecológica que atendiendo a los valores de las tasas de regeneración obtenidos se observa una mayor tasa media en zonas de carácter importador (n:19; 2147 pies/ha \pm 2259,6), siendo bastante inferior en zonas que presentan carácter exportador (n:29; 468 pies/ha \pm 1085,3) tal como se observa en la figura 8.

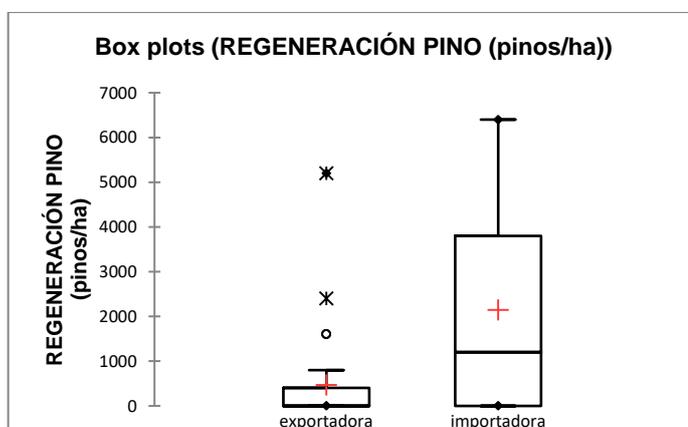


Figura 8. Diagrama de caja de la influencia de la topografía en la regeneración del pino silvestre.

Para evaluar el efecto de la topografía sobre las características del pino se realizó la prueba de M-W. Los resultados se muestran en la tabla 9. Según los resultados obtenidos existen diferencias significativas (ver figura 9) entre la altura y edad de los pinos regenerados en función de la topografía, a favor de la zona exportadora, mientras que el diámetro basal no presenta diferencias significativas.

Variable	N	Valor U	P-value
Altura (cm)	136	2,543	0,011
Diámetro basal (cm)	136	1,443	0,149
Edad (años)	136	2,345	0,019

Tabla 9. Prueba U de Mann-Whitney para altura, diámetro basal y edad en función de la topografía.

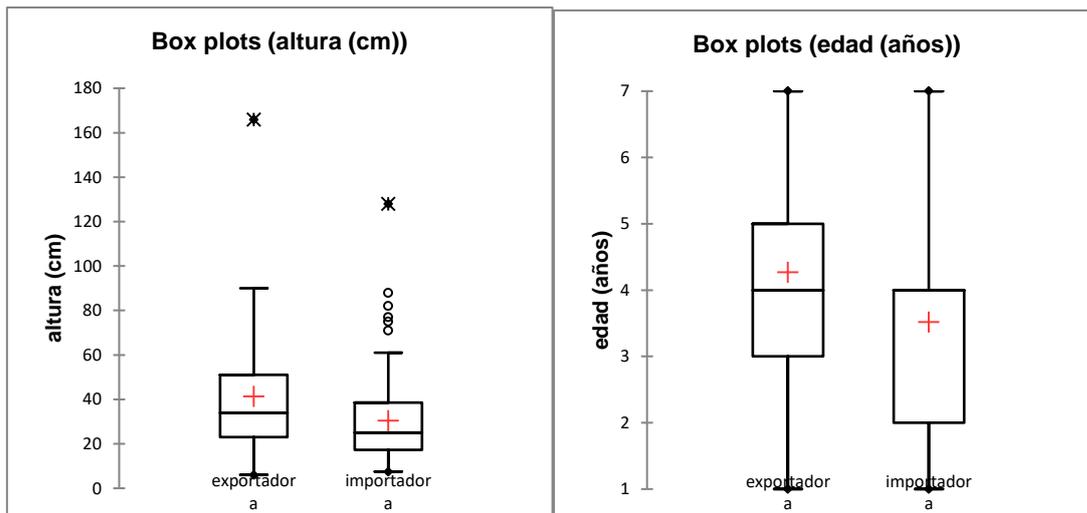


Figura 9. Diagramas de caja de altura y edad dependiendo de la topografía.

3.2.5. Regeneración en cada tipo de fuego según la topografía

Para evaluar si el efecto de la topografía es el mismo en cada uno de los niveles de la variable afección por el tipo de fuego sobre la regeneración de pino silvestre se realizó la prueba de M-W.

El resultado de la prueba de M-W indica que existen diferencias significativas en zonas de fuego de copa (U de Mann-Whitney: 5,0; n: 16; p: 0,010) y en zonas de fuego de suelo, (U de Mann-Whitney: 8,0; n: 16; p < 0,0001), mientras que para zonas mínimamente quemadas no existen diferencias significativas.

Si atendemos a tasas de regeneración obtenidas, en zonas de fuego de copa, la zona importadora (n:5; 2800 pies/ha ± 2366,4) presenta una mayor regeneración que la zona exportadora (n:11; 727 pies/ha ± 1567,8) (ver figura 10). Lo mismo ocurre en las parcelas donde ha habido fuego de suelo, donde la zona con carácter importador (n:5; 3440 pies/ha ± 2549,2) presenta una mayor tasa de regeneración que las zonas con carácter exportador (n:11; 290 pies/ha ± 717,5) (ver figura 11). En zonas mínimamente quemadas atendiendo a los valores de las tasas de regeneración obtenidos, la tasa media es mayor en zonas de carácter importador (n:9; 1066 pies/ha ± 1685,2) que en zonas de carácter exportador (n:7; 342 pies/ha ± 585,2).

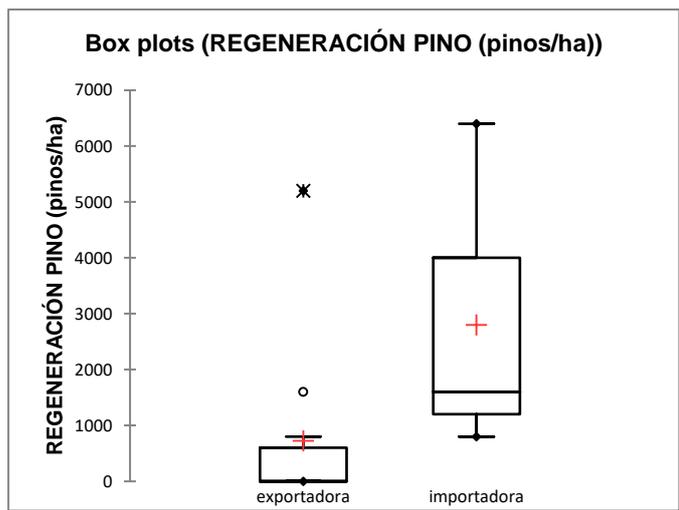


Figura 10. Diagrama de caja según la topografía en zona de fuego de copa.

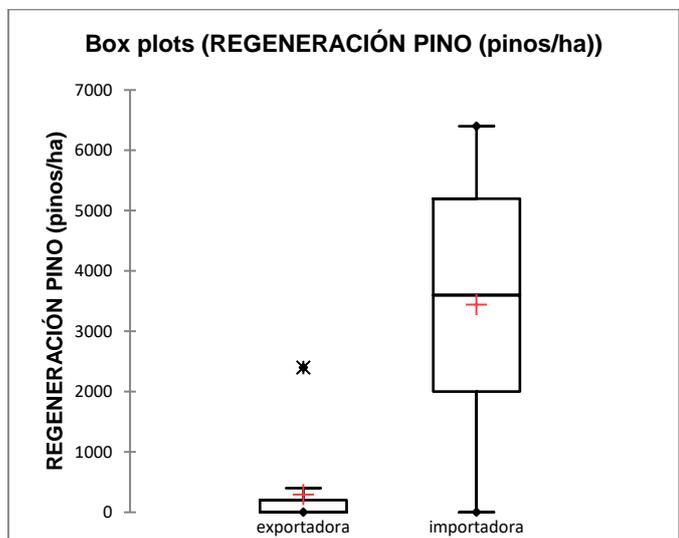


Figura 11. Diagrama de caja según la topografía en zona de fuego de suelo.

3.2.6. Regeneración según la orientación

Para evaluar el efecto de la orientación sobre la regeneración del pino silvestre se realizó la prueba de M-W. Planteamos como hipótesis ecológica que la regeneración del pino presenta mejores valores en la umbría que en la solana.

El resultado de la prueba de M-W nos indica que sí que existen diferencias significativas, entre los niveles de la variable orientación (U de Mann-Whitney: 105,5; n: 48; p: 0,026). Por lo tanto se acepta la hipótesis ecológica. Si atendemos a los valores obtenidos, (ver figura 12), la tasa de regeneración media es mayor en orientación de umbría (n:39; 1353 pies/ha ± 405,5) que en orientación de solana (n:9; 177 pies/ha ± 405,5).

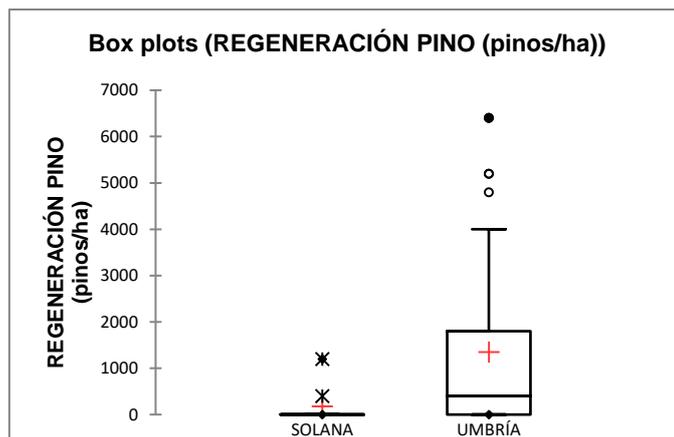


Figura 12. Diagrama de caja de la regeneración del pino en función de la orientación.

Para estudiar el efecto que presenta la orientación sobre las características de los pinos regenerados se realizó la prueba de M-W. Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 10. Según el resultado, no existen diferencias significativas entre altura, diámetro basal y edad de los pinos regenerados en función de la orientación, aunque observando los datos obtenidos, ver tabla 11, sí que presentan valores más altos en umbría la altura, siendo similar el diámetro basal, y presentado en solana valores mayores en edad.

Variable	Valor U	P-value
Altura (cm)	- 0,303	0,762
Diámetro basal (cm)	0,917	0,359
Edad (años)	0	0,480

Tabla 10. Prueba U de Mann-Whitney para altura, diámetro basal y edad del total de pinos regenerados en función de la orientación del terreno.

Variable	Topografía	N	Media	Desviación estándar
Altura (cm)	Solana	4	27,6	11,6
	Umbría	132	33,9	23,6
Diámetro basal (cm)	Solana	4	1,0	0,3
	Umbría	132	1,0	0,8
Edad (años)	Solana	4	4,2	0,5
	Umbría	132	3,7	1,5

Tabla 11. Valores medios de las características de los pinos regenerados en función de la orientación

3.2.7. Matriz de correlaciones

El análisis (Tabla 16; Anexo 4) de cómo se relacionan los factores bióticos y abióticos registrados con la tasa de regeneración del pino, así como con su altura, diámetro basal y edad, se ha llevado a cabo realizando una matriz de correlaciones de Spearman.

Los resultados del análisis de Spearman no muestran ninguna correlación significativa de los factores abióticos y bióticos cuantificados en este estudio sobre las tasas de regeneración y las características de los pinos regenerados.

3.3. Establecimiento del pino silvestre

3.3.1. Tasa de establecimiento

En las 78 ha que tiene de área el rodal 23, se han contabilizado 78 pinos que tienen una edad de 4 años o más, muestreados en 49 parcelas de 25 m².

El pino silvestre presenta, por tanto, una tasa de establecimiento en el rodal 23 de 636 pies/ha.

3.3.2. Caracterización de los individuos

Tras el muestreo, encontramos 78 pinos que tenían 4 años o más, cuyas características se muestran en la tabla 12.

N=78	Media	Desviación estándar
Altura (cm)	45,4	24,6
Diámetro basal (cm)	1,4	0,9
Edad (años)	4,8	1,0

Tabla 12. Características de los individuos establecidos.

La altura media, mostrada en la figura 13, de los pinos ya establecidos se sitúa entre los 41 y los 50 cm. En la figura 14 se observan las frecuencias de diámetro basal medio de los pinos de 4 años o más, situándose entre 1,1 y 2,0 cm de media. La frecuencia de edad se muestra en la figura 15, con una edad media de los pinos ya establecidos de 4 años.

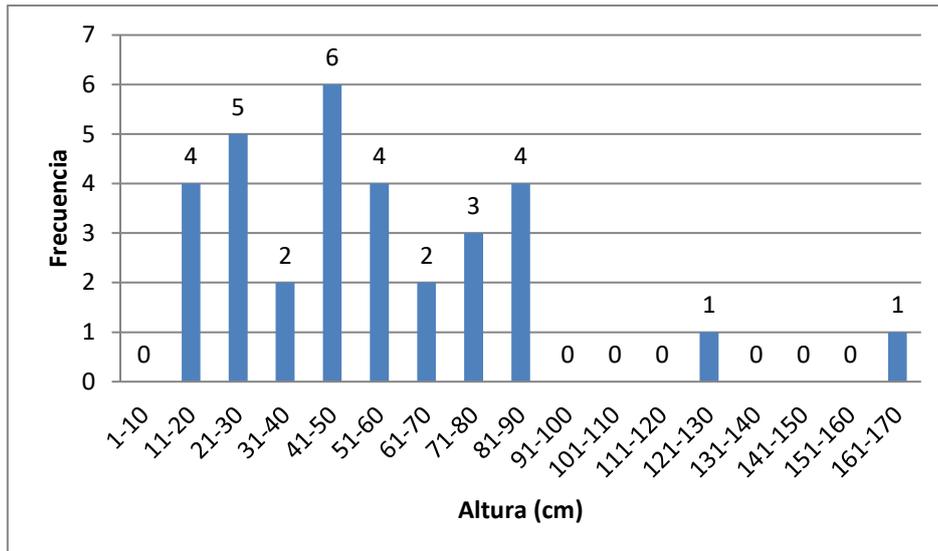


Figura 13. Frecuencia de la altura de los pinos establecidos.

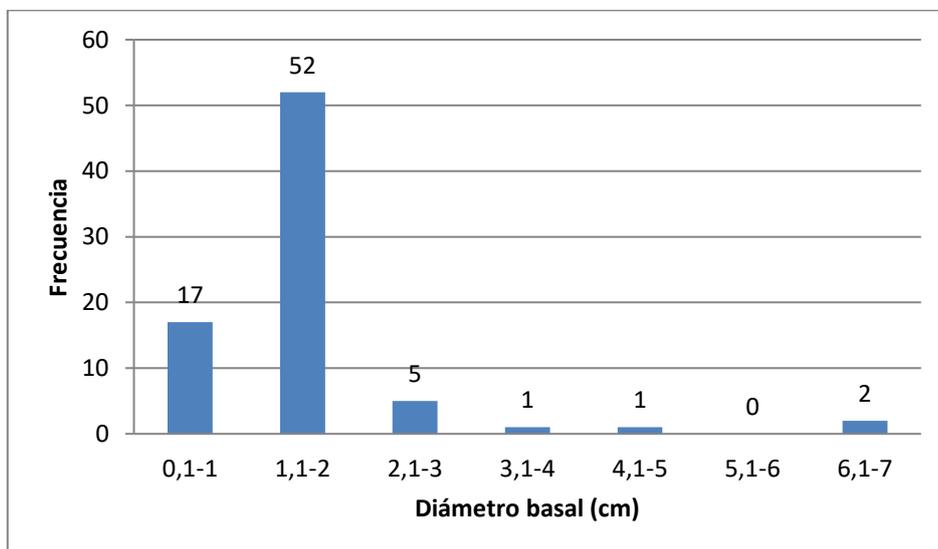


Figura 14. Frecuencia del diámetro basal de los pinos establecidos.

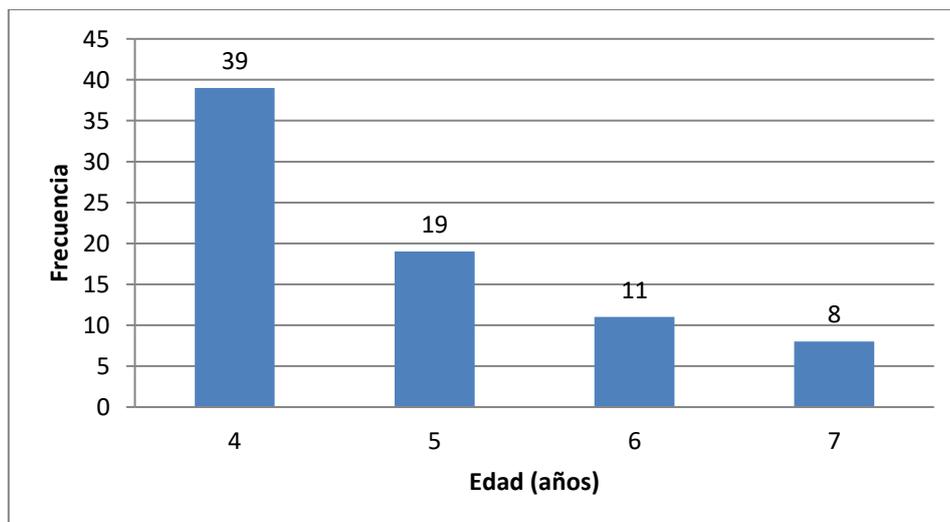


Figura 15. Frecuencia de la edad de los pinos establecidos.

3.3.3. Establecimiento según el tipo de afección por fuego

Para analizar el efecto del tipo de afección por el fuego sobre el establecimiento del pino silvestre se realizó la prueba de K-W.

El resultado de la prueba de K-W nos indica que no existen diferencias significativas entre niveles de la variable afección por el fuego. Sin embargo, si nos fijamos a las tasas de establecimiento obtenidas, si parece observarse una mayor tasa media en zona de fuego de copa (n:16; 975 pies/ha± 1369,9), seguido de la zona mínimamente quemada (n:16; 625 pies/ha± 1052,9), siendo inferior en las parcelas ubicadas en zonas de fuego de suelo (n:17; 329 pies/ha± 681,6).

Si tenemos en cuenta el efecto de la afección del fuego sobre las características de los pinos establecidos, la tabla 13 nos muestra los resultados obtenidos de la prueba de K-W. La prueba de Dunn indica que existen diferencias significativas en altura y en edad, siendo los pinos en zona de fuego de copa los que significativamente presentan valores menores. Según los resultados sí que existen diferencias significativas (figura 16) entre la altura y la edad de los pinos establecidos en función del tipo de afección por fuego, mientras que para el diámetro basal no existen diferencias significativas.

Variable	N	Valor K	P-value	Prueba de Dunn		
				FC	FS	NQ
Altura (cm)	78	12,80	0,002	A	B	B
Diámetro basal (cm)	78	0,645	0,724	A	A	A
Edad (años)	78	22,44	<0,0001	A	B	B

Tabla 13. Prueba K de Kruskal-Wallis para altura, diámetro basal y edad en función de la afección por el fuego.

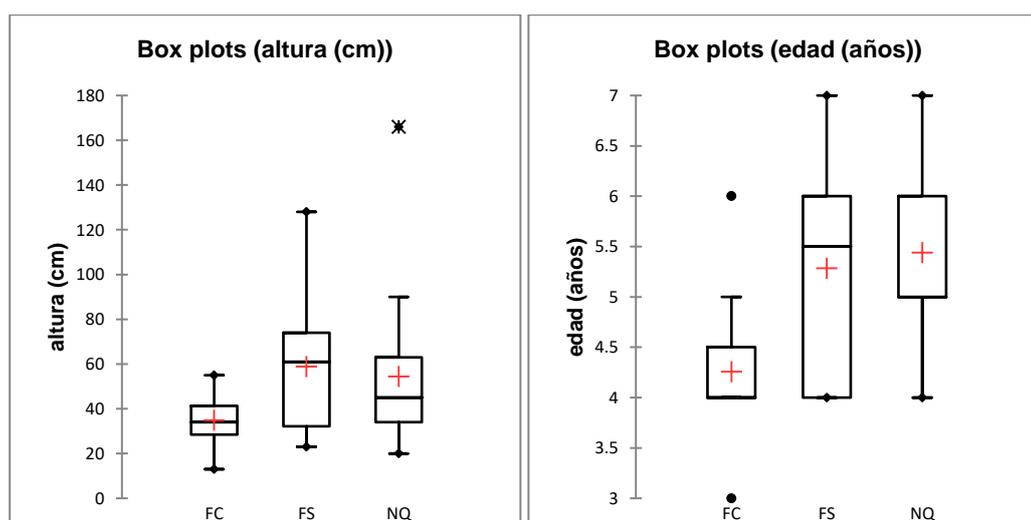


Figura 16. Diagramas de caja de altura y edad de los pinos establecidos según la afección por el fuego.

3.3.4. Establecimiento según la topografía

Con la prueba de M-W, se ha evaluado el efecto de la topografía sobre el establecimiento del pino silvestre. La hipótesis ecológica es que el establecimiento del pino será superior en zona importadora.

El resultado de la prueba de M-W, indica que existen diferencias significativas (U de Mann-Whitney: 162,5; n: 49; p: 0,002) entre niveles de la variable topografía a favor de la zona importadora, lo que confirma nuestra hipótesis ecológica. Los valores de establecimiento medios obtenidos son para las zonas importadoras de 1178 pies/ha ± 1420,3 y para la exportadora de 293 pies/ha ± 593,6 tal como se observa en la figura 17.

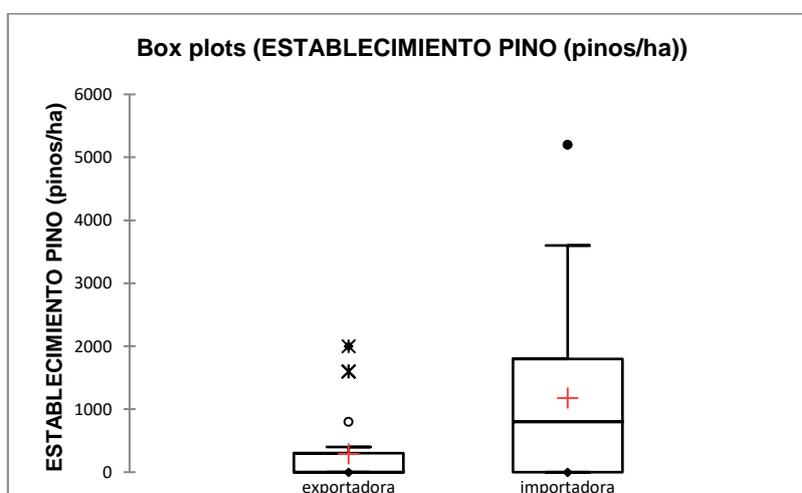


Figura 17. Diagrama de caja del establecimiento de los pinos según la topografía.

La tabla 14 muestra los resultados de la prueba de M-W para detectar si existe algún efecto de la topografía sobre las características de los pinos establecidos. Los resultados nos muestran que la edad es la única característica que presenta diferencias significativas (U de Mann-Whitney: 181,0; n: 78; p: 0,007), a favor de la zona exportadora (ver figura 18). En altura y diámetro basal no se aprecian diferencias significativas.

Variable	N	Valor U	P-value
Altura (cm)	78	178	0,747
Diámetro basal (cm)	78	191	0,717
Edad (años)	78	181	< 0,0001

Tabla 14. Prueba de Mann-Whitney para altura, diámetro basal y edad en función de la topografía del terreno.

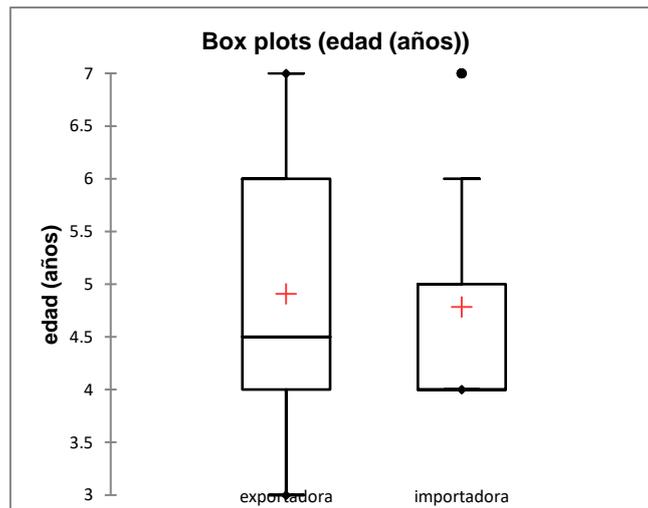


Figura 18. Diagrama de caja de la edad de los pinos establecidos según la variable topografía.

3.3.5. Establecimiento en cada tipo de fuego según la topografía

Para estudiar el efecto de la topografía entre los niveles de la variable afección por el fuego sobre el establecimiento del pino, se realizó la prueba de M-W.

El resultado de la prueba de M-W, indica que en zonas de fuego de copa (U de Mann-Whitney: 5,5; n: 16; p: 0,010) y en zonas de fuego de suelo (U de Mann-Whitney: 15,5; n: 17; p < 0,0001) existen diferencias significativas a favor de la zona importadora. En zona mínimamente quemada, no se aprecian diferencias significativas.

Si atendemos a las tasas medias de establecimiento en zona de fuego de copa (ver figura 19), la zona importadora (n:5; 2240 pies/ha± 1757,2) presenta tasas de establecimiento mayores que en zona exportadora (n:11; 400 pies/ha± 644,9). En zona de fuego de suelo (figura 20), sucede lo mismo, la zona importadora presenta tasas de establecimiento mayores (n:5; 720 pies/ha± 819,7) que en zona exportadora (n:12; 166 pies/ha± 577,3). En zona mínimamente quemada, aunque no existen diferencias significativas, los valores nos muestran el mismo comportamiento con una tasa de establecimiento mayor en zona importadora (n:9; 844 pies/ha± 1302,8) que en zona exportadora (n:7; 342 pies/ha± 585,5)

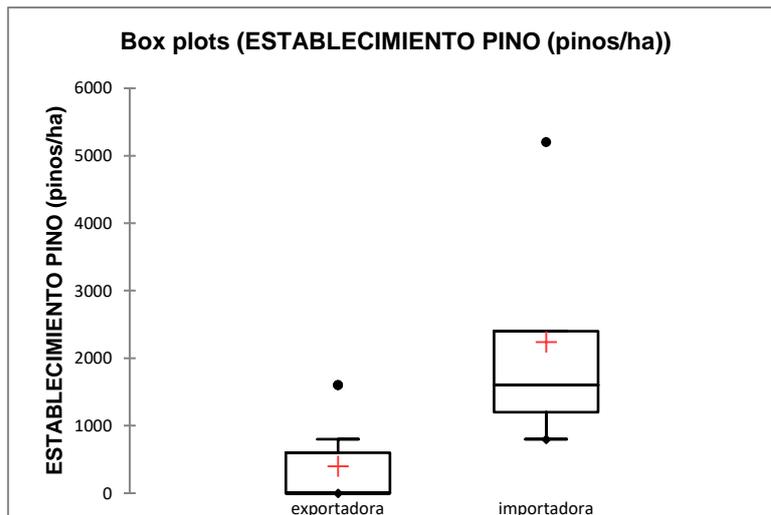


Figura 19. Diagrama de caja del establecimiento del pino en zona de fuego de copa según la topografía.

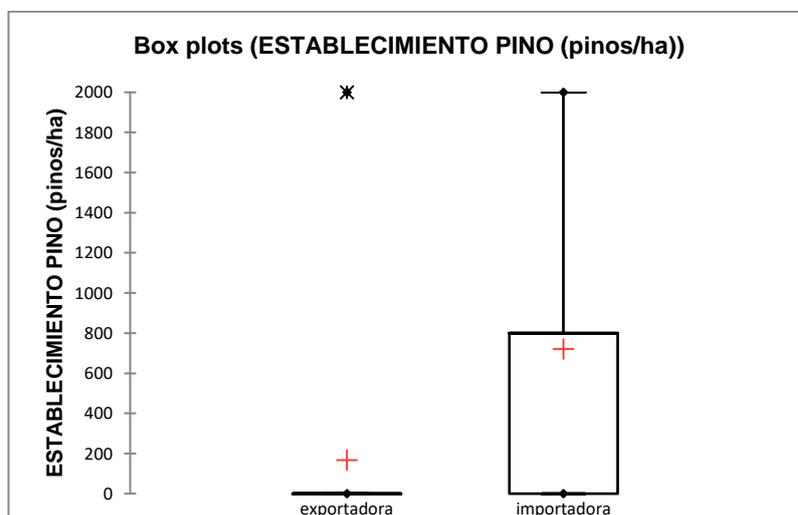


Figura 20. Diagrama de caja del establecimiento de pino silvestre en zona de fuego de suelo según la topografía.

3.3.6. Establecimiento según la orientación

Para evaluar el efecto de la orientación sobre el establecimiento del pino silvestre se realizó la prueba de M-W. La hipótesis ecológica empleada será que las zonas de umbría presentaran tasas de establecimiento superiores.

El resultado de la prueba de M-W nos indica que no existen diferencias significativas entre niveles de la variable orientación. Sin embargo, si atendemos a las tasa de regeneración obtenidas, sí parece observarse una mayor tasa media en zona de umbría (n:40; 740 pies/ha± 1154,8) que en zona de solana (n:9; 177 pies/ha± 405,5).

En cuanto a los efectos de la orientación sobre las características del establecimiento del pino, tras realizar la prueba de M-W (tabla 15), se observan diferencias significativas en la edad (U de Mann-Whitney: 178; n: 78; $p < 0,0001$) (figura 21), mientras que en altura y diámetro basal no se observan diferencias significativas.

Variable	N	Valor U	P-value
Altura (cm)	78	125	0,353
Diámetro basal (cm)	78	134	0,503
Edad (años)	78	130,5	< 0,0001

Tabla 15. Prueba U de Mann-Whitney para altura, diámetro basal y edad en función de la orientación.

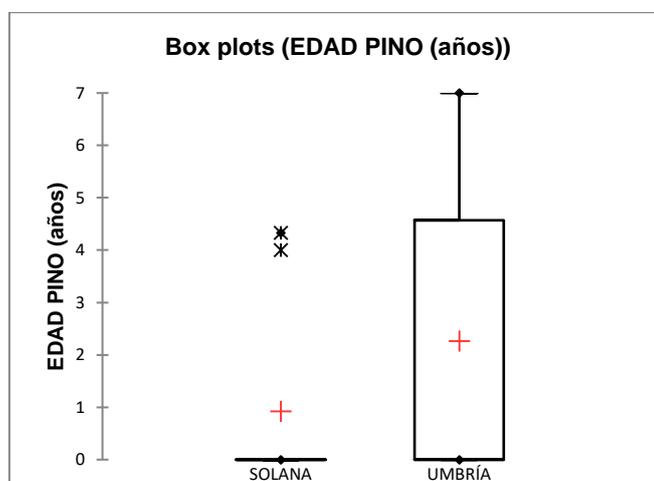


Figura 21. Diagrama de cajas de la edad de los pinos establecidos según la orientación.

3.3.7. Matriz de correlaciones

La matriz de correlaciones se presenta en la tabla 17 del anexo 4 a este trabajo.

Como se puede observar en la matriz de correlaciones, no existe ninguna relación significativa que nos indica la relación positiva o negativa de factores bióticos o abióticos, en el establecimiento del pino así como en su altura, su diámetro basal y su edad.

4. Discusión

La caracterización del rodal 23 realizada en este trabajo nos muestra un estado actual del monte en la finca de La Mezquitilla que combina zonas con una afección total por el fuego con zonas donde existe una elevada densidad de pies de pino silvestre que se reparten, casi en partes iguales, entre árboles con mínima afección por el fuego y árboles con evidencias de fuego en las partes bajas de sus troncos. Esta configuración supone, en principio, condiciones diferentes para la regeneración que serán abordadas más adelante. La existencia de estas diferentes condiciones fue una de las causas para la selección de este rodal en nuestro estudio.

Otra de las causas para la elección del rodal 23 fue la presencia en la misma de un pinar con acebo de gran interés florístico. Hemos aprovechado los transectos para la caracterización del pinar de silvestre para estudiar el estado actual del acebo en el mismo. Como resultados más relevantes señalar que todos los acebos afectados por el fuego están rebrotando y que existe en el rodal una densidad de acebos hembra de 31 pies por hectárea, que, en muchos casos, son productores de frutos, con lo que existe disponibilidad de semilla para su regeneración sexual. Es intención del Plan Director "Plantando Agua" realizar un estudio de regeneración del acebo dado el interés de esta especie (catalogada en Aragón).

Tras el incendio de agosto de 2009, nueve años después (2018) se ha realizado una evaluación de la regeneración de los pinos en el bosque de La Mezquitilla. Ya que los lugares idóneos para la germinación del pino silvestre no siempre parecen coincidir con los óptimos para su establecimiento (Aroca, 2016), se ha considerado la regeneración en dos formas: una que incluye el periodo total post-incendio (lo que hemos llamado regeneración) y otra, que hemos denominado establecimiento y que incluye sólo a aquellos pinos con una edad igual o superior a 4 años y que se considera han superado la fase inicial de alta mortalidad (los primeros tres años (Castro *et al.*, 2004)).

4.1. Tasas de regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23 de la finca de La Mezquitilla

En lo que respecta a la regeneración, la densidad de los pies de pinos regenerados obtenida en este estudio es de 1133 pies/ha. Ackzell (1993, 1994 y 1994b), González Martínez & Bravo (1997, 1999), Jeansson (1994) y Jeansson *et al.* (1989) consideran que la regeneración está conseguida con 1.600-2.500 pies/ha, tasa superior a los resultados obtenidos en nuestro estudio. Sin embargo, Booth (1984) considera que 1.000 pies/ha son suficientes. En un estudio en la misma zona de nuestro estudio y con la misma especie realizado por Pina (2017), se obtuvo una tasa media de 780 pies/ha en un área totalmente afectada por el fuego (La Navarra).

De estos 1133 pies regenerados por hectárea, el 56 % corresponden a pinos de 4 o más años y que consideramos establecidos. Ello se traduce en una tasa de establecimiento de 636 pinos silvestres por hectárea en el rodal 23. Aunque las tasas obtenidas para regeneración y establecimiento son algo bajas, sí parece poder afirmarse que la población de *Pinussylvestris* de La Mezquitilla se está recuperando de forma espontánea (restauración pasiva). Nuestra tasa de regeneración es algo superior a la observada en otras áreas del Plan Director "Plantando Agua" como la de La Navarra (Pina, 2017)

No obstante, la regeneración y el establecimiento de los pinos no es homogénea en el conjunto del área de La Mezquitilla. Se han considerado dos factores que condicionan en mayor medida la recuperación de la masa arbórea. Por un lado, el grado de afección de la vegetación por el fuego ocurrido en 2009. Y por otro, la disponibilidad de agua en el suelo, que es el principal factor limitante de este sector del Sistema Ibérico bajo un clima mediterráneo-continental. Atendiendo a estos dos factores -tipo de fuego y disponibilidad hídrica- las tasas de regeneración y establecimiento presentan una acusada variabilidad espacial.

4.2. Papel del tipo de fuego en la regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23

Respecto al tipo de fuego, en La Mezquitilla hubo áreas afectadas por fuego de copas (FC), otras por fuego de suelo (FS) y otras no quemadas (NQ) con mínima afección. El fuego de copas es el más devastador, al quemar completamente los pies y acabar con su vida. Son zonas con muy baja cobertura vegetal, alta iluminación y baja disponibilidad de propágulos. En el fuego de suelo, la mayoría de los pies de pino sobrevivieron, de manera que mantienen su actividad biológica. Presentan un sotobosque empobrecido, niveles de iluminación controlados por el índice de área foliar del pinar y una disponibilidad de propágulos con un alto potencial de recuperación. En las zonas de mínima afección del fuego (NQ) las condiciones son equivalentes a las del bosque previo al incendio.

La regeneración y establecimiento del pino silvestre no muestra diferencias significativas entre tipos de fuego aunque según las tasas obtenidas, la regeneración es mayor en zonas de fuego de copa y zonas de fuego de suelo, siendo algo inferior en zonas mínimamente quemadas. Este dato no coincide totalmente con el estudio de González-Martínez & Bravo (1997), que indican que en zonas donde hay más tocones de pinos quemados no existen mayores tasas de regeneración.

Los mayores valores de regeneración y establecimiento en zonas de fuego de copa se podrían explicar por la apertura que se produce en estas zonas de afección total por el fuego. En un estudio de Núñez & Calvo(1997), que analizaron el efecto de la temperatura y tiempo de exposición de las semillas de pino silvestre al fuego, se llegó a la conclusión de que las zonas abiertas por el fuego favorecen la germinación e instalación de los pinos.

Una mejor germinación y posterior supervivencia y desarrollo del pino en zonas abiertas, se puede deber a que en estas zonas existe una menor densidad de pies, y por ello, menor competencia por el espacio y la luz para las plántulas. Ese comentario, concuerda con lo que expuesto por Montero *et al.* (2017), que observaron que la vegetación leñosa compite por el espacio, produciendo en algunos casos mortalidad por ahogado de los brinzales. Esta idea también coincide con un estudio realizado en masas de pino silvestre en Finlandia donde se encontró un gradiente de influencia del árbol adulto en el crecimiento y supervivencia del regenerado (Kuuluvainen *et al.*, 1993; Niemistö *et al.*, 1994; Pukkala, 1987, todos en González-Martínez y Bravo, 1999). En los primeros metros alrededor del árbol adulto se producen menores crecimientos y probabilidades de supervivencia, llegando en algunos casos a un 30-40% menos en número de brinzales en los 10 primeros metros. Pukkala (1987) señala que existe mayor probabilidad de supervivencia de las plántulas de pino silvestre situadas a 4-5 m de los árboles más cercanos.

Otro factor que también puede influir en la regeneración y en el establecimiento del pino es la presencia de herbáceas. Tal como dice Montero *et al.* (2017), la vegetación herbácea condiciona en mayor medida el primer desarrollo de las plántulas, pero también juega un papel importante durante el establecimiento al competir por los recursos hídricos y nutricionales. La presencia de herbáceas también condiciona que la semilla llegue al suelo o no. Leroy (1961) observó que las herbáceas actúan como barrera física impidiendo el contacto de la semilla con el suelo.

Por tanto, las plántulas de pino silvestre compiten por su supervivencia con las especies herbáceas, matorrales y arbustos de su comunidad. En nuestro estudio, ni la cobertura total, ni la de herbáceas o de matorral o arbustos presentan correlaciones significativas en la regeneración y en el establecimiento del pino silvestre ni en sus características. Este resultado coincide en parte con el obtenido con Pina (2017), que tampoco encontró efectos significativos de la cobertura de herbáceas sobre la regeneración del pino silvestre, aunque sí obtuvo una asociación positiva y estadísticamente significativa entre la cobertura de matorral y la densidad de pinos regenerados, su altura y su diámetro basal.

Aún sin detectar correlaciones significativas, sí queremos señalar que la evidencia en campo apunta a una regeneración y establecimiento mejor del pino silvestre en zonas con baja cobertura vegetal coincidiendo con un suelo algo pedregoso. La matriz de Spearman sí recoge un efecto negativo, estadísticamente significativo, de la pedregosidad con la presencia de herbáceas. También afecta negativamente a la cobertura de matorral, aunque en este caso no llega a ser significativa.

En lo que respecta a las características analizadas en los pinos, quizás lo más destacado son las diferencias entre tipos de fuego en cuanto a la altura y edad media de los pinos regenerados y establecidos.

Así, los pinos regenerados y establecidos en áreas de fuego de suelo y especialmente los de las áreas mínimamente afectadas por el incendio son más altos que los de fuego de copa. Ello podría deberse a las mayores tasas de regeneración en las zonas con gran afección por el fuego. Sin embargo, el hecho de que estas diferencias se mantengan en los pinos establecidos, nos hace pensar en que la mayor altura sea debida a la necesidad de captar la radiación solar, que se ve dificultada por la presencia de pies de pino intactos en las zonas de fuego de suelo y mínima afección por el incendio. González-Matínez & Bravo (1999) también observaron que la luz tiene gran importancia en las tasas de crecimiento del pino silvestre regenerado. Harriet *al.* (1982), señala que el sombreado es el factor más influyente de competencia intraespecífica en la regeneración del pino silvestre.

De igual forma, las zonas mínimamente quemadas presentan una edad media superior de sus pinos regenerados y establecidos respecto a las otras zonas de afección de fuego. Esto parece indicar que la regeneración, aunque menos activa empieza antes en estas zonas mínimamente quemadas. En este estudio se han detectado pinos establecidos en las zonas mínimamente afectadas por el fuego de hasta 7 años de edad, lo que supone que la regeneración comenzó dos años tras el incendio. Pina (2017), en un área de fuego de copa, indica existencia de regeneración a partir del cuarto año.

4.3. Papel de la disponibilidad de agua en la regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23

En relación a la disponibilidad de agua es bien conocida la menor oferta hídrica de las solanas respecto a las umbrías, así como la de las formas de relieve convexas en comparación a las cóncavas. Las formas de relieve convexas se consideran exportadoras de recursos (agua y nutrientes). Las cóncavas (vaguadas, depresiones, pies de ladera) presentan un carácter importador y condiciones adecuadas para la germinación y el posterior desarrollo del pino silvestre.

En nuestro estudio, se aprecian diferencias significativas del efecto de las formas del relieve en la regeneración y establecimiento del pino. Según los valores obtenidos hay unas mayores tasas de regeneración en la zona importadora que en la zona exportadora. Es en estas zonas importadoras donde existen unas mejores condiciones ambientales de disponibilidad de nutrientes y recursos hídricos para la regeneración y el posterior establecimiento del pino.

El efecto de la topografía sobre la regeneración también fue estudiado por Pina (2017). Sus resultados, llegan a la misma conclusión, la regeneración y la supervivencia del pino silvestre se ve favorecida en zonas importadoras frente a zonas exportadoras. La disponibilidad de agua es un factor que está afectando negativamente en los últimos años a diversas poblaciones de pino silvestre en el Sistema Ibérico turolense, según informaciones orales proporcionadas por APNs e ingenieros del Servicio Provincial de Medio Ambiente. Además, las plantaciones llevadas a cabo en el Plan Director "Plantando Agua", en el entorno de Majalinos muestran el mismo patrón (Edo, 2016; Fernández, 2016).

Si atendemos al efecto de la topografía en función del tipo de afección por el fuego se observan diferencias significativas en zonas de fuego de copa y zonas de fuego de suelo, con las formas importadora con mejores tasas de regeneración y de establecimiento. En zonas mínimamente afectadas las diferencias entre zonas importadoras y exportadoras no llegan a detectarse como significativas, aunque las tasas de regeneración y establecimiento obtenidas van a favor de las zonas con topografía importadora. Este resultado sigue manifestando la necesidad de cierta humedad para la regeneración del pino silvestre que a su vez podría ser mayor en estas zonas más afectadas por el fuego. Oleskog & Sahlén (2000), observaron que la germinación del pino silvestre es mejor en un suelo preparado, para mantener la humedad de la semilla lo suficientemente alta que permita la germinación. Pasada esta etapa inicial, la vegetación parece jugar un papel más importante durante el establecimiento al aumentar la competencia por la luz, los recursos hídricos y los nutrientes, tal como señala Montero *et al.*, (2017).

Aunque no hemos detectado correlaciones significativas entre tasas de regeneración y/o establecimiento con la cobertura de madera muerta, nuestras observaciones de campo si parecen asociar la regeneración en zonas de fuego de copa con una mayor presencia de madera quemada. Creemos que la madera muerta juega un papel en la retención del suelo, haciendo que zonas con elevada pendiente, puedan adquirir cierto carácter importador, favoreciendo la retención de agua y nutrientes y ayudando así a la regeneración el pino silvestre, conclusión a la que llegó también Moriet *al.* (2004), para el que la materia muerta ofrece ventajas al regenerado del pino silvestre.

En orientación a umbría es donde se han encontrado mayores tasas de regeneración, corroborado por el análisis estadístico, donde se observan diferencias significativas. Este resultado coincide con el obtenido por Pina (2017). El establecimiento muestra la misma tendencia, aunque en este caso las diferencias no se pueden afirmar desde un punto de vista estadístico. Es el único caso en que regeneración y establecimiento no son coincidentes en sus resultados. Parece poder afirmarse que las condiciones necesarias para la regeneración y establecimiento en nuestro rodal 23 son similares o que, en todo caso, no han sido puestas de manifiesto con el esfuerzo o tipología del muestreo aplicado

Las parcelas que se localizan en orientación de umbría son las que han presentado mejores tasas de regeneración. Es un hecho comúnmente aceptado que la regeneración del pino silvestre en la Península Ibérica se ve favorecida por exposiciones de umbría, tal como dice González Vázquez (1948) y Montero *et al.* (2008) en Aroca (2016). Este último autor en su estudio de la regeneración del pino silvestre, llega a la conclusión de que la germinación en aquellos lugares con una alta insolación es inferior que en aquellos que reciben menos cantidad de radiación, particularmente radiación directa. Montero (1994), señala que en zonas de umbría, la regeneración y el establecimiento serán mejores ya que son zonas donde no existe déficit hídrico como puede ocurrir en zonas de solana. Al encontrarse en sombra, el terreno guardará cierta humedad, siendo esta un factor clave para el asentamiento del pino silvestre.

En definitiva, la regeneración y establecimiento de pinos tras el incendio está siendo más activa en las zonas afectadas por fuego de copas, probablemente debido a la menor competencia por la luz y los nutrientes y la suficiente disponibilidad de semillas. Estas zonas son las más necesitadas de una recuperación del pinar. Y, como era de esperar, en las zonas con fuego de suelo y, especialmente, las mínimamente afectadas, la regeneración y establecimiento son menos activos por la mayor competencia que experimentan las semillas y plántulas con los pinos remanentes del incendio.

Por otra parte, la disponibilidad hídrica, favorecida por una topografía importadora y por exposiciones a umbría, se muestra como un factor fundamental para explicar la regeneración y establecimiento del pino silvestre en el rodal 23 de la finca de La Mezquitilla.

5. Conclusiones

- La densidad media de pies regenerados de pino silvestre en la zona de estudio es de 1133 pies/ha lo que se puede considerar suficiente. Mientras que la densidad de pies establecidos es de 636 pies/ha.
- Regeneración y establecimiento presentan mejores tasas en zonas de fuego de copa, aunque el análisis estadístico no detecta diferencias significativas entre tipos de fuego.
- Los pinos regenerados presentan valores mayores de altura y edad media en zonas mínimamente quemadas lo que se interpreta como que la regeneración empieza antes en estas áreas. Se han observado pinos con una edad de 7 años, de manera que la regeneración empezó 2 años después del incendio.
- Las zonas importadoras, que guardan mayor humedad edáfica, presentan tasas de regeneración y de establecimiento del pino silvestre superiores a las exportadoras.
- La orientación umbría favorece la regeneración del pino silvestre, así como su posterior establecimiento, lo que se asocia de nuevo con la mayor disponibilidad de humedad en estos ambientes de umbría.
- Con el nivel de esfuerzo aplicado, no se ha encontrado ninguna relación estadísticamente significativa entre factores bióticos y abióticos, en la regeneración y el establecimiento del pino en la zona de estudio.

6. Bibliografía

Agúndez, D., Galera, R., & Alía, R. (1993). *Variación de Pinus sylvestris L. en España*. Tesis Doctoral. UPM. Departamento de Silvopascicultura.

Aroca, P. (2016). *La regeneración natural del pino silvestre (Pinus sylvestris L.) en el valle de lozoya (Madrid): germinación y supervivencia inicial*. Tesis Doctoral.

Bochet, E., García-Palacios, P., Peco, B., Tormo, J., & García-Fayos, P. (2011). Procesos ecológicos y restauración de la cubierta vegetal. *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas*, 101-141.

Booth, T. (1984). Natural regeneration in the native pinewoods of Scotland. A review of principles and practice. *Scottish Forestry*.

Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *REVISTA AMBIENTE Y DESARROLLO de CIPMA*, 19 (3), 44-53.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J., & Gómez, J. (2004). Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology*, 92 (2), 266-277.

Cerdà, A., Bodí, M., Mataix-Solera, J., & Doerr, S. (2012). A review of fire effects on vegetation and soil in the mediterranean basin. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (58), 439-441.

Connell, J., & Slatyer, R. (1977). Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. *The American Naturalist*, 111 (982), 1119-1144.

Contratas Ancar. (2013). *Plan director "Plantando agua: construyendo los montes del siglo XXI para un nuevo escenario de cambio climático y de cambios sociales en la comarca de las Cuencas Mineras (Teruel)*. Teruel.

Fabregat, C., & López, S. (1995). *Estudio de la localización de enclaves singulares de flora en la provincia de Teruel*.

González Martínez, S., & Bravo, F. (1999). Regeneración natural, establecimiento y primer desarrollo del pino silvestre (*Pinus sylvestris L.*). *Forest Systems*, 8 (3), 225-247.

González Vázquez, E. (1948). *Selvicultura. Estudio cultural de las masas forestales y los métodos de regeneración*. Madrid: Residencia de profesores.

Granström, A., & Fries, C. (1985). Depletion of viable seeds in the forest floor after clearcutting. *J. For.*, 68, 776-778.

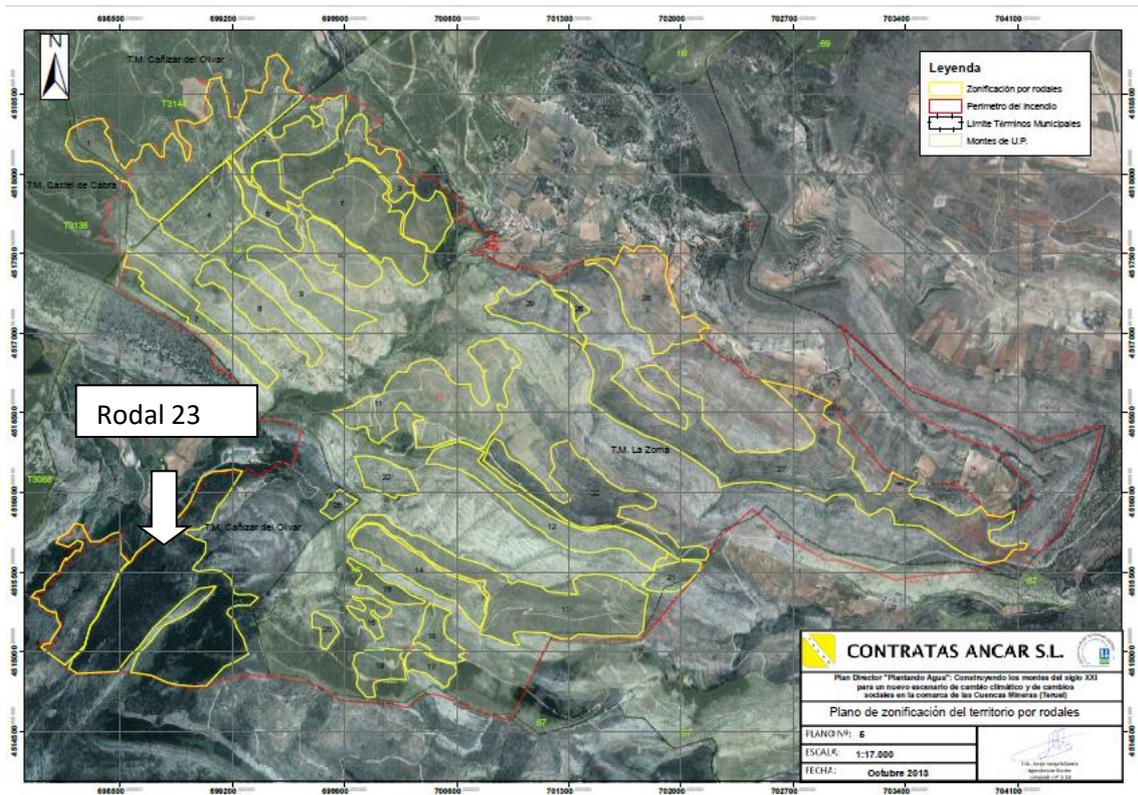
- Hari , P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Llonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E., y otros. (1982). Dynamics of early development of tree stand. *Acta Forestalia Fennica*, 177, 1-39.
- Harper, J. (1977). Population biology of plants. *Population biology of plants* .
- Hille, M., & Den Ouden, J. (2004). Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. *European Journal of Forest Research*, 123 (3), 213-218.
- Instituto Pirenaico de Ecología. (2005). *Herbario Jaca*. Obtenido de <http://floragon.ipe.csic.es/index.php>
- Kupila-Ahvenniemi, S. (1985). Wintertime changes in the fine structure and the ribosome content of the buds of Scots pine. *Plant production in the North: proceedings from Plant Adaptation Workshop* , 4-9.
- Kuuluvainen, T., Hokkanen, T., Järvinen, E., & Pukkala, T. (1993). Factors related to seedling growth in a boreal Scots pine stand: a spatial analysis of a vegetation. Soil system. *Canadian Journal of Forest Research*, 23 (10), 2101-2109.
- Lamont, B. (1991). Canopy seed storage and release: what's in a name? *Oikos* , 266-268.
- Lawrence, W., & Del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge University Press.
- Lecomte, N., Simard, M., & Bergeron, Y. (2006). Effects of fire severity and initial tree composition on stand structural development in the coniferous boreal forest of northwestern Québec, Canada. *Ecoscience*, 13 (2), 152-163.
- Leroy , P. (1961). *Humus brut et régénération du pin sylvestre en forêt de Haguenau*.
- Martínez García, F. (1999). *Los bosques de Pinus sylvestris L. del sistema central español. Distribucion, historia, composición florística y tipología*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Martínez-Vilalta, J., Banqué, M., Aguadé, D., Barba, J., Curiel Yuste, J., & Loret, F. (2012). Las poblaciones ibéricas de pino albar ante el cambio climático: con la muerte en los talones. *Ecosistemas*, 21 (3), 15-21.
- Matthews, J. (1991). *Silvicultural systems*. Oxford University Press.
- Montero , G., del Río , M., & Roig , S. (2017). Dynamics of ecosystem services in *Pinus sylvestris* stands under different managements and site quality classes. *European Journal of Forest Research*, 136 (5-6), 983-996.
- Montero, G. (1994). Generalities on silviculture of *Pinus sylvestris* L. in Spain. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales (España)* .

- Mori, A., Mizumachi, E., Osono, T., & Doi, Y. (2004). Substrate-associated seedling recruitment and establishment of major conifer species in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*, 196 (2-3), 287-297.
- Morillo, J. (1987). *Estudio de las causas que limitan la regeneración natural del Pinus sylvestris L. en el cuartel D del monte Cabeza de Hierro.*
- Natham, R. (1999). Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree. *Journal of Ecology*, 87 (4), 659-669.
- Niemistö, P., Lappalainen, E., & Isomäki, A. (1993). Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period. *Folia Forestalia*, 826, 26.
- Núñez, M., & Calvo, L. (1997). Efecto de la temperatura en la germinación de *Pinus sylvestris* y *Pinus halepensis*. *Congresos Forestales*.
- Oleskog, G., & Sahlén, K. (2000). Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of Scots pine (*Pinus sylvestris*) seeds in a mixed conifer stand. *New Forest*, 20 (2), 119-133.
- Pardos, M., Bravo, F., Montero, G., Gordo, J., & Calama, R. (2012). *La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana*. Valladolid: Universidad de Valladolid-INIA.
- Pausas, J. (2012). *Incendios forestales. Una visión desde la ecología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España).
- Pausas, J. (2004). La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo. *Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo*, 47-64.
- Pukkala, T. (1987). *Simulation model for natural regeneration of Pinus sylvestris, Picea abies, Betula pendula and Betula pubescens.*
- Rojo, A., & Montero, G. (1996). El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 293.
- Rubio, L. (1987). *Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de Pinus sylvestris L. en el cuartel B del monte Cabeza de Hierro.*
- Santos, M. (1987). *Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de Pinus sylvestris L. en el cuartel E del monte Cabeza de Hierro.*
- Smith, D. (1986). *The practice of silviculture (8th edition)*. John Wiley & Sons.
- Vellozas, T., Púa, M., Mello, E., & Cardozo, J. (2010). *Incendios forestales y su afectación al medio ambiente, prevención y combate.*

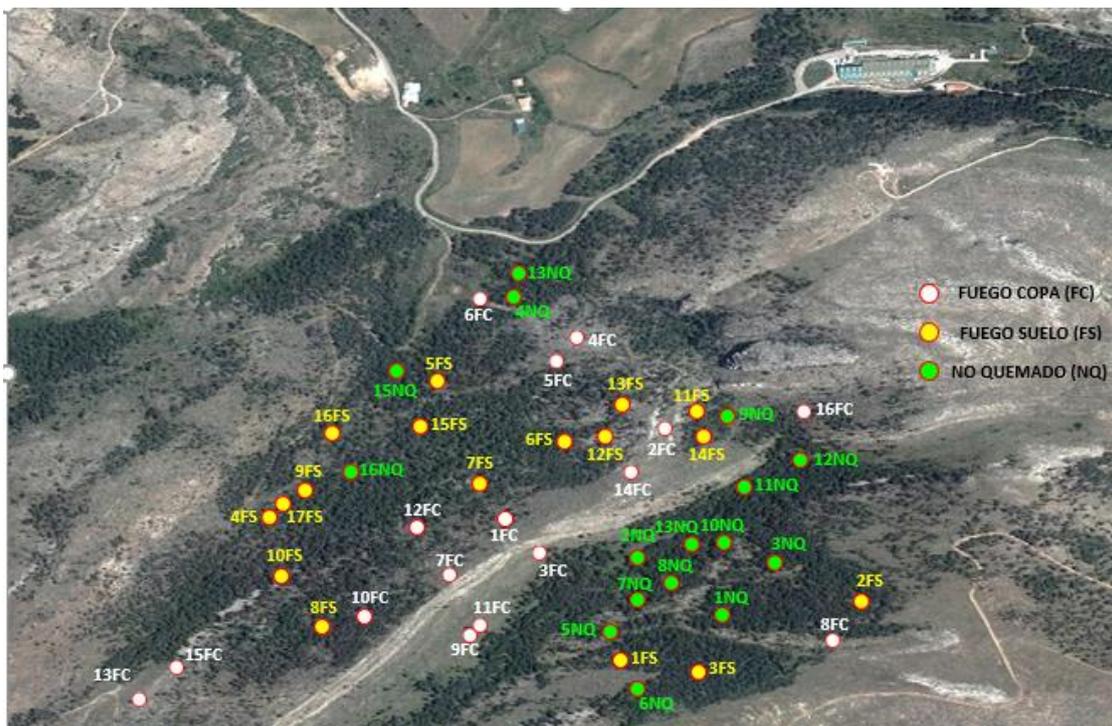
7. Anexo

Anexo 1. Planos.

- División por rodales del plan director.



- Ubicación de las parcelas muestreadas.



Anexo 2. Estadillos de muestreo.

- Estadillo usados en el estudio de la regeneración del pino silvestre.

ESTUDIO REGENERACIÓN PINO (caracterización parcela)

parcela: afección por el fuego: (no quemada; fuego de suelo; fuego de copa) fecha muestreo:	coordenadas (UTM ETRS89): X: Y: h (msnm):
---	--

1.- MEDIO ABIÓTICO.

Pendiente media (%)

Orientación (grados desde N / tipo)

Carácter importador/exportador

pedregosidad (%)

2.- MEDIO BIÓTICO.

Cobertura total (%)

Coberturas herbáceas (%)

Cobertura matorral (%)

Altura media herbáceas (%)

Altura media matorral (%)

Especie	Altura (cm)

Punto	Altura (cm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

- Estadillo usado en la caracterización del Rodal 23.

TRANSECTOS

Superficie del transecto (m ²):	
Nº total de pinos	Nº total de acebos
	Rebrotados
	Con flor o fruto
	Machos
	Hembras

Anexo 3. Fotografías de los tipos de parcelas.

- Parcelas mínimamente quemadas



- Parcelas de fuego de copa



- Parcelas de fuego de suelo



Anexo 4. Matriz de correlaciones.

A continuación se muestran la matriz de correlaciones de la regeneración y del establecimiento del pino. En la tabla, los valores en negrita representan las correlaciones significativas al 95% de confianza.

- Matriz de correlaciones de Spearman de la regeneración del pino.

Variables	ALTITUD (msnm)	PENDIENTE	PEDREGOSIDAD	COB TOTAL	COB HERB	COB MATORRAL	ALT HERB (cm)	ALT MAT (cm)	COB MADERA	PINOS	REGENERACIÓN PINO (pinos/ha)	ALT PINO (cm)	DIAM PINO (cm)	EDAD PINO (años)
ALTITUD (msnm)	1	-0,036	-0,100	-0,126	-0,015	-0,108	-0,163	-0,082	0,173	-0,036	-0,036	0,075	0,060	0,114
PENDIENTE	-0,036	1	0,091	0,044	0,094	-0,093	0,158	0,019	-0,014	-0,032	-0,032	-0,203	-0,180	-0,153
PEDREGOSIDAD	-0,100	0,091	1	-0,548	-0,296	-0,208	0,006	-0,279	0,441	0,067	0,067	-0,082	0,003	-0,062
COB TOTAL	-0,126	0,044	-0,548	1	0,826	0,017	0,451	0,041	-0,287	0,012	0,012	0,067	0,026	0,048
COB HERB	-0,015	0,094	-0,296	0,826	1	-0,469	0,499	-0,348	-0,021	0,049	0,049	0,055	0,044	0,052
COB MATORRAL	-0,108	-0,093	-0,208	0,017	-0,469	1	-0,151	0,845	-0,414	-0,016	-0,016	0,030	-0,039	-0,011
ALT HERB (cm)	-0,163	0,158	0,006	0,451	0,499	-0,151	1	-0,200	-0,096	-0,018	-0,018	-0,086	-0,063	-0,118
ALT MAT (cm)	-0,082	0,019	-0,279	0,041	-0,348	0,845	-0,200	1	-0,386	-0,007	-0,007	0,071	-0,018	0,050
COB MADERA	0,173	-0,014	0,441	-0,287	-0,021	-0,414	-0,096	-0,386	1	0,072	0,072	-0,019	0,047	0,007
PINOS	-0,036	-0,032	0,067	0,012	0,049	-0,016	-0,018	-0,007	0,072	1	1,000	0,859	0,846	0,837
REGENERACIÓN PINO (pinos/ha)	-0,036	-0,032	0,067	0,012	0,049	-0,016	-0,018	-0,007	0,072	1,000	1	0,859	0,846	0,837
ALT PINO (cm)	0,075	-0,203	-0,082	0,067	0,055	0,030	-0,086	0,071	-0,019	0,859	0,859	1	0,964	0,984
DIAM PINO (cm)	0,060	-0,180	0,003	0,026	0,044	-0,039	-0,063	-0,018	0,047	0,846	0,846	0,964	1	0,971
EDAD PINO (años)	0,114	-0,153	-0,062	0,048	0,052	-0,011	-0,118	0,050	0,007	0,837	0,837	0,984	0,971	1

Tabla 16. Matriz de correlaciones de la regeneración del pino silvestre.

- Matriz de correlaciones de Spearman del establecimiento del pino.

Variables	ALTITUD (msnm)	PENDIENTE	PEDREGOSIDAD	COB TOTAL	COB HERB	COB MATORRAL	ALT HERB (cm)	ALT MAT (cm)	COB MADERA	PINOS	REGENERACIÓN PINO (pinos/ha)	ALT PINO (cm)	DIAM PINO (cm)	EDAD PINO (años)
ALTITUD (msnm)	1	-0,037	-0,107	-0,111	-0,006	-0,112	-0,149	-0,102	0,201	0,131	0,131	0,127	0,101	0,164
PENDIENTE	-0,037	1	0,084	0,043	0,091	-0,091	0,155	0,023	-0,017	-0,174	-0,174	-0,239	-0,214	-0,211
PEDREGOSIDAD	-0,107	0,084	1	-0,553	-0,301	-0,205	0,001	-0,274	0,418	0,038	0,038	-0,097	0,006	-0,088
COB TOTAL	-0,111	0,043	-0,553	1	0,825	0,021	0,457	0,036	-0,271	-0,011	-0,011	0,060	0,019	0,045
COB HERB	-0,006	0,091	-0,301	0,825	1	-0,463	0,505	-0,345	-0,016	-0,006	-0,006	0,027	0,024	0,031
COB MATORRAL	-0,112	-0,091	-0,205	0,021	-0,463	1	-0,151	0,838	-0,407	-0,007	-0,007	0,053	-0,029	0,008
ALT HERB (cm)	-0,149	0,155	0,001	0,457	0,505	-0,151	1	-0,212	-0,073	-0,087	-0,087	-0,096	-0,047	-0,124
ALT MAT (cm)	-0,102	0,023	-0,274	0,036	-0,345	0,838	-0,212	1	-0,402	-0,092	-0,092	0,018	-0,087	0,002
COB MADERA	0,201	-0,017	0,418	-0,271	-0,016	-0,407	-0,073	-0,402	1	0,086	0,086	-0,025	0,040	-0,034
PINOS	0,131	-0,174	0,038	-0,011	-0,006	-0,007	-0,087	-0,092	0,086	1	1,000	0,930	0,915	0,914
REGENERACIÓN PINO (pinos/ha)	0,131	-0,174	0,038	-0,011	-0,006	-0,007	-0,087	-0,092	0,086	1,000	1	0,930	0,915	0,914
ALT PINO (cm)	0,127	-0,239	-0,097	0,060	0,027	0,053	-0,096	0,018	-0,025	0,930	0,930	1	0,943	0,986
DIAM PINO (cm)	0,101	-0,214	0,006	0,019	0,024	-0,029	-0,047	-0,087	0,040	0,915	0,915	0,943	1	0,943
EDAD PINO (años)	0,164	-0,211	-0,088	0,045	0,031	0,008	-0,124	0,002	-0,034	0,914	0,914	0,986	0,943	1

Tabla 17. Matriz de correlaciones del establecimiento del pino silvestre.