

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL  
MEDI NATURAL

Máster Universitario en Ingeniería de Montes



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

ESTUDIO Y SEGUIMIENTO DE UNA RED DE PARCELAS DE  
EXPERIMENTACIÓN EN UNA MASA DE *Pinus Halepensis* Mill  
COETÁNEA SITUADAS EN M.U.P Nº99 “MAS DE L’ASCLE” EN EL  
TÉRMINO MUNICIPAL DE ALCALÁ DE XIVERT (CASTELLÓN)

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

AUTOR:

JUAN PEDRAJAS GARCÍA

TUTOR:

EDUARDO ROJAS BRIALES

CURSO 2019/2020

Valencia, noviembre 2020

## **Estudio y seguimiento de una red de parcelas de experimentación en una masa de *Pinus halepensis* coetánea situadas en M.U.P nº99 “Mas de l’Ascle” en el término municipal de Alcalá de Xivert (Castellón)**

En el año 2009 se estableció una red de parcelas permanentes en el M.U.P nº 99 “Mas de l’Ascle” situado en el término municipal Alcalá de Xivert, en la provincia de Castellón; esta red de parcelas está formada por 26 parcelas, 14 de ellas situadas en una masa de *Pinus halepensis* procedente de regeneración natural tras un incendio forestal en el año 1993, mientras que las 12 restantes se ubicaron en una masa de *Pinus halepensis* procedente de repoblación forestal realizada en el año 1984 y que no se quemó en 1993.

En el año 2009 se realizaron diferentes tratamientos silvícolas en dichas parcelas con el objetivo de analizar el efecto que tiene cada uno de ellos; en las masas provenientes de regeneración natural post-incendio se actuó con distintas tipologías de clareos y en las masas provenientes de repoblación con distintas modalidades de claras; tanto en las parcelas en las que se actuó mediante claras como en las que se actuó mediante clareos, se dejaron parcelas sin aplicar tratamiento alguno con el objetivo que actuaran como testigo.

El objetivo de este trabajo es evaluar como estos distintos tratamientos han afectado a la masa forestal pasados 11 años de su establecimiento y aplicación del claro, y comparar su eficacia respecto al objetivo de gestión deseado; para ello se ha realizado un inventario en las parcelas, midiendo diámetros y alturas en las parcelas tratadas mediante claras, y diámetros, alturas y matorral (porcentaje ocupado de superficie, altura y especie) en las parcelas tratadas con clareos. Con los resultados del inventario se ha realizado un análisis estadístico para evaluar y comparar los efectos de cada tratamiento, para ello también se cuenta con el inventario que se realizó en el año en el que se establecieron las parcelas.

En las parcelas de claras no se han obtenido diferencias significativas al comparar los crecimientos de los distintos tratamientos, debido a que la densidad de partida era baja por lo que es necesario más tiempo y continuar con los tratamientos para extraer conclusiones en estas parcelas.

En las parcelas de clareos se han obtenido diferencias significativas al comparar los crecimientos en área basimétrica y volumen entre los distintos tratamientos, los crecimientos son mayores conforme menor es la intensidad de tratamiento.

**Palabras clave:** Selvicultura, claras, clareos, *Pinus halepensis* Mill., parcelas permanentes.

**Autor:** Juan Pedrajas Gacría

**Localidad y fecha:** Valencia, noviembre 2020

**Tutor:** Eduardo Rojas Briales

## **Study and monitoring of a network of experimental plots in a *Pinus halepensis* even-aged forest located in M.U.P nº99 “Mas de l’Ascle” in the municipality of Alcalá de Xivert (Castellón)**

In 2009 a network of permanent plots was established in the M.U.P No. 99 “Mas de l’Ascle” located in Alcalá de Xivert, in the province of Castellón; this network of plots is made up of 26 plots, 14 of them located in a *Pinus halepensis* mass originated from a natural regeneration after a forest fire in 1993, while the remaining 12 were located in a *Pinus halepensis* mass originated from a reforestation made in 1984 which did not burn in 1993.

In 2009, different silvicultural treatments were carried out on the plots in order to analyze the effect that each one of them has; in the stands originated from natural post-fire regeneration, different types of precommercial thinning were acted upon and in the stands from reforestation with different types of thinning; plots were left without applying any treatment in order to act as a control.

The objective of this work is to evaluate how these different treatments have affected the forest mass after 11 years of its establishment and application of the thinning, and to compare its effectiveness with respect to the desired management objective; for this, an inventory has been carried out in the plots, measuring diameters and heights in the plots treated by thinning, and diameters, heights and scrub (occupied percentage of surface, height and species) in the plots treated with precommercial thinning. With the results of the inventory, a statistical analysis has been done to evaluate and compare the effects of each treatment, for this we also used the inventory that was performed in the year in which the plots were established.

In the thinning plots, no significant differences have been obtained when comparing the growths of the different treatments, because the initial density was low thus, it is necessary more time and to continue with the treatments to draw conclusions in these plots.

In the precommercial thinning plots, significant differences have been obtained when comparing the growths in basal area and volume between the different treatments, being the growths higher when the intensity of treatment is lower.

**Key words:** Forestry, thinning, precommercial thinning, *Pinus halepensis* Mill., permanent plots.

**Author:** Juan Pedrajas García

**Locality and date:** Valencia, november 2020

**Tutor:** Eduardo Rojas Briales

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, Eduardo Rojas Briales, por todo lo aprendido durante la realización de este trabajo y por la oportunidad de realizarlo.

Agradecer a Eva Samblás y Vicent Ribas por esos largos días de mediciones, sin vosotros este trabajo no hubiera sido posible.

A mi hermana, Sandra, por todo el apoyo y por esos últimos días en campo.

Deseo agradecer a Sara, por toda su motivación y ayuda para seguir adelante.

Por último, agradecer a mi familia, por su gran apoyo en toda esta etapa.

## ÍNDICE

1	Introducción .....	1
1.1	Pinus halepensis .....	1
1.2	Antecedentes .....	2
2	Objetivos .....	3
3	Materiales y métodos .....	4
3.1	Caracterización.....	4
3.1.1	Localización .....	4
3.1.2	Orografía y configuración del terreno.....	4
3.1.3	Geología y litología.....	5
3.1.4	Climatología.....	5
3.2	Caracterización de las parcelas .....	8
3.2.1	Claras .....	8
3.2.2	Clareos.....	9
3.3	Caracterización de la masa.....	10
3.4	Diseño del inventario y trabajo de campo .....	12
3.4.1	Trabajo de campo previo .....	12
3.4.2	Diseño del inventario en las parcelas de claras.....	13
3.4.3	Diseño del inventario en las parcelas procedentes de clareos .....	13
3.5	Análisis estadístico .....	15
3.6	Limitaciones .....	15
4	Resultados y discusión .....	16
4.1	Resultados en parcelas de claras .....	16
4.1.1	Efectos sobre el crecimiento y las características del árbol medio en las parcelas de claras .....	18
4.1.2	Efecto de los tratamientos sobre la mortandad .....	24
4.1.3	Comparación con las tablas de producción de Montero (2000, 2001).....	24
4.2	Resultados en parcelas de clareos .....	25
4.2.1	Efectos sobre el crecimiento y las características del árbol medio en las parcelas de clareos .....	27
4.2.2	Efectos de los tratamientos sobre la mortandad.....	30
4.2.3	Evolución de la ocupación de especies arbustivas y herbáceas.....	31
4.2.4	Comportamiento frente a incendios.....	32
5	Discusión y conclusiones.....	35
5.1	Claras.....	35

5.2	Clareos.....	36
6	Bibliografía .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estaciones climatológicas empleadas.....	6
Tabla 2	Datos empleados en la caracterización climática.....	7
Tabla 3	Índices de Rivas Martínez para la zona de estudio.....	8
Tabla 4	Localización y tratamiento de las parcelas de claras.....	9
Tabla 5	Localización y tratamiento de las parcelas de clareos .....	10
Tabla 6	Síntesis de los datos de las parcelas de claras obtenidos en el estudio (2009-2020) ....	17
Tabla 7	Valores promedio, por tratamiento, de crecimientos medios anuales, crecimientos corrientes y volumen unitario del árbol medio en las parcelas de claras.....	19
Tabla 8	Evolución del crecimiento en diámetro del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras .....	19
Tabla 9	Evolución del crecimiento en altura del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras .....	20
Tabla 10	Evolución del crecimiento en área basimétrica por tratamiento en las parcelas de claras .....	20
Tabla 11	Evolución del crecimiento en existencias por tratamiento en las parcelas de claras ..	21
Tabla 12	Evolución del crecimiento en volumen del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras .....	22
Tabla 13	Evolución del crecimiento del diámetro de los 50 pies más gruesos por parcela por tratamiento en las parcelas de claras .....	23
Tabla 14	Evolución de la densidad de las parcelas de claras desde el inicio del estudio hasta la actualidad.....	24
Tabla 15	Síntesis de los datos de las parcelas de clareos obtenidos en el estudio (2009-2020) 26	
Tabla 16	Valores promedio, por tratamiento, de crecimientos medios anuales, crecimientos corrientes y volumen unitario del árbol medio en las parcelas de clareos .....	28
Tabla 17	Evolución del crecimiento en diámetro del árbol medio por tratamiento, en parcelas de clareos .....	28
Tabla 18	Evolución del crecimiento en área basimétrica por tratamiento, en parcelas de clareos .....	29
Tabla 19	Evolución del crecimiento en existencias por tratamiento, en parcelas de clareos ....	29
Tabla 20	Evolución del crecimiento en altura media, tomando en 2009 la altura postratamiento por tratamiento, en parcelas de clareos .....	30
Tabla 21	Evolución del crecimiento en altura media, tomando en 2009 la altura pretratamiento por tratamiento, en parcelas de clareos.....	30
Tabla 22	Evolución de la densidad de las parcelas de clareos desde el inicio del estudio hasta la actualidad.....	31
Tabla 23	Prueba de Kruskal-Wallis para altura media de matorral .....	32
Tabla 24	Prueba de múltiples rangos método Tukey HSD, grupos homogéneos para altura media de matorral.....	33

Tabla 25 Prueba de múltiples rangos método Tukey HSD, diferencias significativas para altura media de matorral.....	33
Tabla 26 Modelos de combustible para las distintas tipologías de clareos.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Euforgen de distribución del <i>Pinus halepensis</i> en el Mediterraneo (Fady et al., 2008).....	1
Figura 2 Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio.....	7
Figura 3 Evolución del diámetro del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	19
Figura 4 Evolución de la altura del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	20
Figura 5 Evolución del área basimétrica del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	20
Figura 6 Evolución en existencias entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	21
Figura 7 Variación del incremento corriente en volumen (expresado como porcentaje respecto al incremento corriente en volumen del testigo), frente al área basimétrica residual (expresado como porcentaje respecto al área basimétrica del testigo) en las parcelas de claras.....	21
Figura 8 Evolución del volumen del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	22
Figura 9 Variación del volumen del árbol medio en 2020 (expresado como porcentaje respecto al volumen del árbol medio del testigo), frente al área basimétrica residual (expresado como porcentaje respecto al área basimétrica del testigo) en las parcelas de claras.....	23
Figura 10 Evolución del diámetro de los cincuenta pies más gruesos por parcela entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras.....	23
Figura 11 Evolución del diámetro del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos.....	28
Figura 12 Evolución del área basimétrica entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos.....	29
Figura 13 Evolución de las existencias entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos.....	29
Figura 14 Evolución de la altura entre el postratamiento en 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos.....	30
Figura 15 Evolución de la altura entre el pretratamiento en 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos.....	30

# 1 Introducción

## 1.1 *Pinus halepensis*

El *Pinus halepensis* Mill. es una especie pionera y poco exigente, que coloniza suelos muy pobres y degradados, jugando un papel importante en la ecología y el paisaje de la cuenca mediterránea (Quezel, 1986), ocupa grandes extensiones al oeste del Mediterráneo, en España, Francia, Italia, Croacia, Albania, Grecia, Marruecos, Argelia, Túnez, Libia, Bosnia-Herzegovina, Montenegro, Siria, Israel, Palestina, Turquía, Jordania y Malta, además se lo puede encontrar formando pequeñas poblaciones, tanto naturales como artificiales, al este del Mediterráneo, se estima que ocupa una superficie total de 3,5 millones de hectáreas (Fady et al., 2008), en la figura 1 se muestra su ocupación..

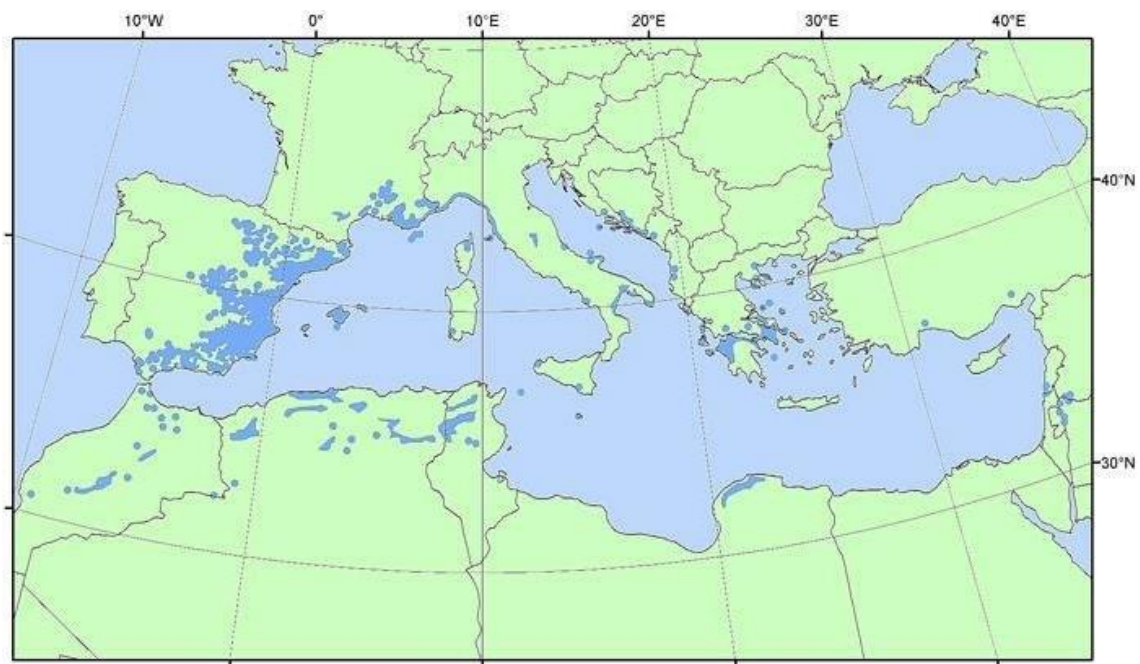


Figura 1 Mapa de Euforgen de distribución del *Pinus halepensis* en el Mediterráneo (Fady et al., 2008)

En España es, tras *Quercus ilex L.* la segunda especie arbórea por superficie ocupada (1770000 ha), se distribuye en las Islas Baleares y en las provincias del litoral mediterráneo, desde Girona hasta Málaga, adentrándose hacia el interior por la cuenca del Ebro, La Mancha, La Alcarria y el Sistema Bético (Prada, 2008). Una parte de esta extensión proviene de su uso en repoblaciones forestales, ya que es un componente esencial en la estrategia de reforestación de suelos calizos en los climas áridos o semiáridos de la cuenca mediterránea, tanto por su capacidad intrínseca de colonización como por su efecto en la mejora de suelos y microclimas, favoreciendo a su vez el crecimiento de especies mediterráneas frondosas (Quezel, 1986); durante el periodo 1940-1987 se repoblaron 533415 hectáreas con esta especie, representando un 17 % del total de la superficie repoblada en estos años (Gil & Aránzazu 1993).

En la Comunidad Valenciana la superficie arbolada ocupa más de un 54% de la superficie forestal, y el *Pinus halepensis* es la especie dominante en el 72% de los terrenos arbolados, seguida a mucha distancia por *Quercus ilex L.*, principal representante de las frondosas, y que no supera el 14% del monte arbolado. (GVA, 2013).



Las masas de *Pinus halepensis* pueden crecer sobre todos los sustratos y casi todos los bioclimas de la región Mediterránea. (Fady et al., 2008), aunque no muestra preferencia por un determinado tipo de sustrato, en España es frecuente encontrarlo sobre suelos pobres, calizos o margosos, desde el nivel del mar hasta los 1.000 m, llegando puntualmente a los 1.600 m (Prada, 2008). Su desarrollo óptimo tiene lugar con precipitaciones entre 350 y 700 mm y una temperatura media de las mínimas entre -2 °C y +10 °C (Fady et al., 2008).

En la Comunidad Valenciana el *Pinus halepensis* aparece en formaciones esencialmente puras en más del 90% de su superficie, aunque en dos terceras partes de esta área, aparece acompañada por especies acompañantes en baja proporción, únicamente el 6 % de su superficie se puede considerar como mixta. (GVA, 2013).

Debido a su gran poder de adaptación, su estructura suele ser muy diversificada, dependiendo en gran medida de la calidad de estación, puede variar entre arboles finos y tortuosos y arboles grandes y esbeltos, por lo que es necesario comprender su estructura para poder explicar su silvicultura (Montero, 2001.; Beltrán et al., 2011).

Todo esto, junto a que su productividad media se estima menor a 2 m<sup>3</sup>/ha-año según Fady et al., (2008), y varía entre 1.5 y 4.0 m<sup>3</sup>/ha-año según la calidad de estación en las tablas de producción de Montero et al. (2002) lleva a que la especie sea considerada como protectora, sin embargo, los pinares de *Pinus halepensis* están produciendo simultáneamente madera y biocombustible en cantidades importantes que podrían rentabilizar un aprovechamiento conjunto de ambos productos (GVA, 2013), ya que su madera tiene potencial para ser usada en industrias como el desenrollado para tablón contrachapo o madera laminada (Beltrán et al., 2011).

La principal amenaza a la que están sometidos los pinares de la especie es el fuego, ya que su reiteración en un intervalo escaso de tiempo puede dar lugar a la desaparición de muchas poblaciones debido a la imposibilidad de una efectiva regeneración natural por falta de semillas. (Prada, 2008). Sin embargo, la naturaleza serótina de la especie reduce considerablemente este riesgo.

En la Comunitat Valenciana existen grandes extensiones de pinares jóvenes densos, en muchas ocasiones como consecuencia de incendios anteriores, que presentan un elevado riesgo de incendios forestales por su elevada combustibilidad (GVA, 2013), la principal amenaza a la que se enfrentan estos pinares es al fuego, ya que la reiteración en un intervalo corto de tiempo puede dar paso a la desaparición del pinar, debido a la falta de semillas que imposibilitaría la regeneración (Prada, 2008).

## 1.2 Antecedentes

En el año 2009 con el objetivo de estudiar la incidencia que tienen las actuaciones silvícolas sobre las masas coetáneas de *Pinus halepensis* así como su optimización se estableció un convenio de colaboración entre la Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana y la Universidad Politécnica de Valencia (Poveda, 2010).

En el año 2009, a partir de este convenio, se estableció una red de parcelas permanentes en el M.U.P nº 99 “Mas de l’Ascle” situado en el término municipal Alcalá de Xivert, en la provincia de Castellón, y en el M.U.P nº154 “La Hunde y La Palomera” situado en el término municipal Ayora, en la provincia de Valencia.

En el monte “La Hunde y la Palomera” se establecieron 15 parcelas sobre una masa procedente de una repoblación que se encontraba en estado de fustal bajo de 50 años de edad en su momento.

La red establecida en el monte “Mas de l’Ascle” en una zona ampliamente repoblada con *Pinus halepensis* entre 1960 y 1985, en la que se centrará este estudio, está formada por 26 parcelas, 14 de ellas situadas en una masa de *Pinus halepensis* en estado de monte bravo, procedente de regeneración natural tras un incendio forestal en el año 1993; mientras que las 12 parcelas restantes se ubicaron en una masa de *Pinus halepensis* en estado de latizal alto procedente de repoblación forestal realizada en el año 1984 y que no se quemó en 1993.

Para ubicar las parcelas se tuvo en cuenta que su localización debía de cumplir los siguientes criterios:

- Localizarse en montes propiedad de la Generalitat Valenciana, de forma que las parcelas de experimentación pudieran seguirse a largo plazo.
- Tener un acceso y una orografía que facilitasen los trabajos.
- Representar la variabilidad del terreno de forma que las parcelas incluyeran las diferentes calidades de estación que se dan en la zona.
- Que no se hubieran realizado tratamientos silvícolas previos.

En el año 2009, después de establecer la red de parcelas, se realizaron diferentes tratamientos silvícolas en dichas parcelas con el objetivo de analizar el efecto que tiene cada uno de ellos; en las masas provenientes de regeneración natural post-incendio se actuó con distintas tipologías e intensidades de clareos, y en las masas provenientes de repoblación con distintas modalidades e intensidades de claras; tanto en las parcelas en las que se actuó mediante claras como en las que se actuó mediante clareos, se dejaron parcelas sin aplicar tratamiento alguno con el objetivo que actuaran como testigo.

## 2 Objetivos

La ausencia de información cuantificada sobre crecimiento, producción, turnos y densidades más convenientes en cada caso lleva a una falta de normas silvícolas que en muchos casos conduce tanto a los servicios forestales como a los propietarios particulares a utilizar criterios de abstención o a realizar intervenciones muy moderadas por desconocimiento de los efectos producidos por claras más fuertes (González et al., 2004).

Las parcelas permanentes son el mejor medio para conocer la evolución del crecimiento de una especie a lo largo de un ciclo de crecimiento

El objetivo principal de este trabajo, que ha sido financiado por el Fondo de Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Valencia, es evaluar como los distintos tratamientos silvícolas, que se aplicaron en la red de parcelas en el año 2009, han afectado a la masa forestal pasados 11 años de su establecimiento y aplicación del claro, y comparar su eficacia respecto al objetivo de gestión deseado.

El presente trabajo se centra en las parcelas del monte “Mas de l’Ascle” y pretende obtener los primeros resultados de los tratamientos de **clareos** realizados en las parcelas que en el año 2009 se encontraban en estado de monte bravo procedente de regeneración post-incendio (así como los tratamientos de **claras** en estado latizal alto procedente de repoblación.

Los objetivos específicos del trabajo serían:

- Diseñar y ejecutar el inventario de las parcelas de claras.
- Diseñar y ejecutar el inventario de las parcelas de clareos.

- Diseñar y ejecutar el inventario del matorral en las parcelas de clareos.
- Analizar las diferencias en las respuestas de las parcelas a los diferentes tratamientos en cuanto a la caracterización dasométrica se refiere (altura media y altura dominante, diámetro medio, volumen existente y volumen medio por pie, área basimétrica y esbeltez).
- Analizar las diferencias en las respuestas de las parcelas a los diferentes tratamientos en cuanto a crecimientos corriente y medio se refiere.
- Analizar la respuesta a las diferentes intensidades de clareos en cuando a la cobertura y altura de matorral se refiere.

## 3 Materiales y métodos

### 3.1 Caracterización

#### 3.1.1 Localización

Las parcelas objeto de estudio del presente trabajo se localizan en el monte propiedad de la Comunidad Valenciana “Mas de l’Ascle” situado en el límite noroeste del término municipal Alcalà de Xivert donde linda con los términos municipales les Coves de Vinromà y Salsadella. Este municipio pertenece al Baix Maestrat, comarca del noreste de la provincia de Castellón, y a la demarcación forestal Vall d’Alba.

Las parcelas se encuentran en el límite este del mencionado monte de utilidad pública en las coordenadas UTM (ETRS89 Huso 30) 770799.18m 4473597.84m.

En el Anejo 1 se muestra un plano con la localización de la zona de estudio.

#### 3.1.2 Orografía y configuración del terreno

El término municipal de Alcalà de Xivert en cuanto al desarrollo geológico se encuadra en el dominio montañoso ibérico-aragonés, y en la cadena costera catalana por la disposición en graderías de montañas y valles, su fisiografía está dominada por montañas prelitorales y valles, todos ellos muy fracturados, que siguen una orientación paralela a la línea de costa (Ajuntament d’Alcalà de Xivert, 2016).

Según la clasificación de la fisiografía para la Comunitat Valenciana (año 1992) procedente de la antigua COPUT la fisiografía del monte “Mas de l’Ascle” varía entre montañoso, colinado y laderas que varían entre moderadas y muy acentuadas.

En el caso de las parcelas de claras, se encuentran en un terreno colinado según la clasificación anterior, mientras que la situación de las parcelas de clareos varía entre:

- Colinado
- Laderas moderadas
- Laderas acentuadas

Las parcelas de clareos tienen una altitud que varía entre los 350 y los 440 m, mientras que la altitud de las parcelas de claras varía entre los 440 y los 530m. La altitud media de todas las parcelas es de 440m.

### 3.1.3 Geología y litología

Empleando el Mapa de Edades Geológicas de España, del Instituto Geológico y Minero de España, se puede observar como el término municipal de Alcalà de Xivert se enmarca en dos eras geológicas, el Mesozoico y el Cenozoico.

La zona donde se ubican las parcelas pertenece al Mesozoico, en los sistemas Jurásico - Cretácico y Cretácico, en este periodo se produjo una alternancia de fenómenos de regresión y transgresión marina, con deposiciones marinas.

Según el mapa geológico MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España, en la zona de las parcelas encontramos calizas microcristalinas y dolomías, caliza microcristalina y calizas microcristalinas y calizas arcillosas.

En cuanto a la litología, según el mapa de litologías de España del IGME, en el término municipal de Alcalá de Xivert podemos encontrar:

- Calizas, dolomías y margas. Areniscas y conglomerados.
- Dolomías, calizas y margas. Areniscas.
- Gravas, conglomerados, arenas y limos.
- Areniscas, conglomerados, arcillas; calizas y evaporitas.

Sin embargo, en la zona de las parcelas solo encontramos de los dos primeros.

Si consultamos el mapa de litologías de la Comunidad Valenciana de la Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, las parcelas se sitúan en una zona con litología calcárea.

### 3.1.4 Climatología

Para realizar el análisis climatológico de la zona de estudio se ha decidido buscar las estaciones climatológicas más cercanas a la red de parcelas. La zona se encuentra en una zona intermedia entre las estaciones Alcalà de Xivert 'Cooperativa' y San mateo 'H S'.

En la tabla 1 se muestra la información básica y los años útiles de ambas estaciones.

La zona donde se ubican las parcelas se encuentra aproximadamente a 9 km de la estación Alcalà de Xivert 'Cooperativa' y a 11 km de la estación San Mateu, por ello los datos empleados para la caracterización climática se han obtenido como un promedio de los datos de ambas estaciones, ajustando la temperatura por la altitud, disminuyendo las temperaturas 0.65°C/100m (Gandullo, 2004), la precipitación no se ha ajustado con la altitud debido a que en la zona de estudio existen zonas en las que el gradiente de precipitación por la altitud es nulo. En la tabla 2 se muestran los datos mensuales y anuales para temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial para la zona de estudio.

La zona se caracteriza por tener unos veranos e inviernos muy suaves, con una temperatura media anual de 15.4°C, siendo agosto el mes con una mayor temperatura media (22.42°C), y enero el mes con una menor temperatura media (7.07°C). La temperatura media mensual de las máximas absolutas no supera los 34°C en el mes más cálido, y la media mensual de las mínimas absolutas es de -4.18°C en el mes más frío.

La precipitación muestra un régimen irregular, con una media anual de 633.9mm y con máximos en otoño y primavera y mínimo en verano, siendo octubre el mes con una mayor precipitación media (101.45mm) y julio el mes con menos (20.4mm).

Tabla 1 Estaciones climatológicas empleadas

<b>Nombre</b>	SAN MATEU 'H S'	ALCALÀ DE XIVERT 'COOPERATIVA'
<b>Clave</b>	8511A	8508A
<b>Provincia</b>	Castellón de la Plana	Castellón de la Plana
<b>Tipo</b>	Estación Termopluviométrica	Estación Termopluviométrica
<b>Altitud</b>	325	130
<b>Latitud (º)</b>	40	40
<b>Latitud (')</b>	27	18
<b>Longitud (º)</b>	00	00
<b>Longitud (')</b>	10	13
<b>Orientación</b>	E	E
<b>Años precipitación</b>	32	15
<b>Año inicio precipitación</b>	1970	1983
<b>Año fin precipitación</b>	2001	2003
<b>Años temperatura</b>	32	21
<b>Año inicio temperatura</b>	1970	1983
<b>Año fin temperatura</b>	2001	2003

A partir de estos datos se ha representado el diagrama ombrotérmico que se muestra en la figura 2.

En la evaluación de la calidad estacional deben considerarse dos factores limitantes importantes:

- Suelo esquelético fruto del uso ganadero de esta zona (fuego reiterado)
- Fuerte viento de NW (mestral) frecuente de octubre a mayo y altamente desecante, especialmente después del paso de frentes con lluvia.

Tabla 2 Datos empleados en la caracterización climática

CLIMATOLOGIA						
Mes	T <sup>a</sup> medias mensuales (°C)	T <sup>a</sup> media mensual de las máximas absolutas (°C)	T <sup>a</sup> media mensual de las mínimas absolutas (°C)	PPT media mensual (mm)	PPT máximas en 24 horas (mm)	ETP anual (Thornthwaite)
<b>Enero</b>	7.07	18.62	-4.18	60	24.55	18.4
<b>Febrero</b>	8.12	20.52	-3.28	32.25	17.75	21.95
<b>Marzo</b>	9.92	23.17	-1.68	36.95	17.15	35.9
<b>Abril</b>	11.57	23.22	0.72	57.65	26.2	47.85
<b>Mayo</b>	14.87	26.57	3.82	60.55	28.65	77.1
<b>Junio</b>	18.82	30.47	8.27	31.55	15.95	109.2
<b>Julio</b>	21.97	33.57	11.67	20.4	13.9	139.95
<b>Agosto</b>	22.42	33.02	12.37	33.55	18	134.9
<b>Septiembre</b>	19.27	30.32	8.52	69.6	28.7	94.65
<b>Octubre</b>	15.07	26.42	4.17	101.45	42.55	61
<b>Noviembre</b>	10.72	22.12	-0.88	77.35	37.25	32.45
<b>Diciembre</b>	8.17	19.57	-3.53	52.75	23.25	21.4
<b>Anual</b>	14.02	-	-	633.9	-	794.7
<b>Max/min</b>	-	34.47	-5.28	-	79.95	-

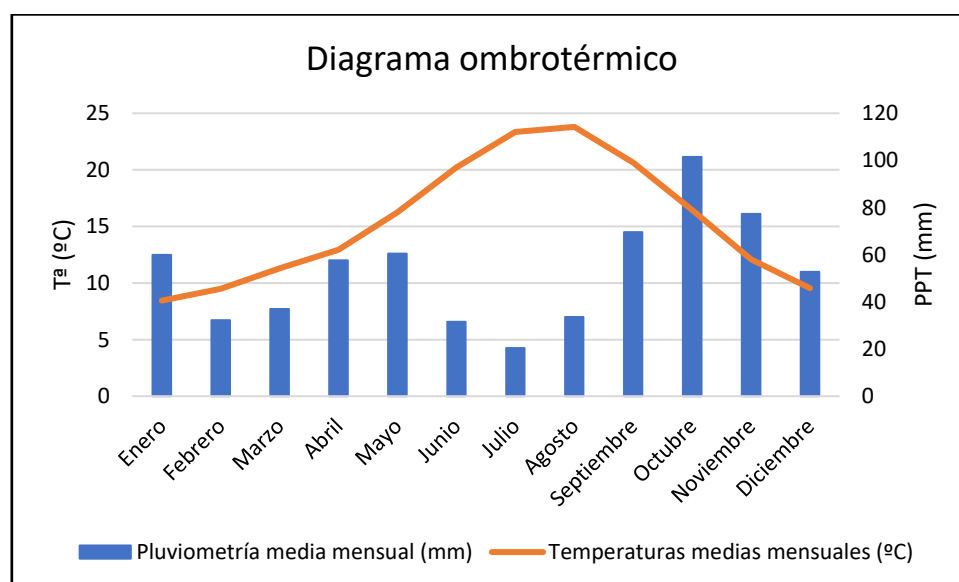


Figura 2 Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio

Empleando la clasificación de S. Rivas-Martínez et al. (2002) se han calculado los índices de termicidad, de continentalidad y ombrotermico que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Índices de Rivas Martínez para la zona de estudio

Índices de Rivas Martínez	
Índice de Termicidad	326.00
Índice de continentalidad	15.35
Índice ombrotérmico	3.44

Siguiendo la misma clasificación, la caracterización bioclimática que le corresponde a la zona de estudio es la siguiente:

- Macroclima: Mediterráneo
- Bioclima: Pluviestacional oceánico
- Termotipo: Mesomediterráneo
- Ombrotipo: Subhúmedo

### 3.2 Caracterización de las parcelas

El estudio se ha realizado sobre dos masas de *Pinus halepensis* coetáneas, la primera de ellas procedente de repoblación forestal en el año 1984, tiene actualmente 36 años; la segunda de ellas procede de regeneración natural tras producirse un incendio forestal en el año 1993 en una repoblación plantada entre los años 1960-1970.

Los tratamientos de clareos se ejecutaron en junio-julio de 2008, mientras que los de claras se ejecutaron en diciembre de 2008; las mediciones postratamiento se hicieron en el año 2009 en ambos casos. Las mediciones actuales se realizaron entre mayo y diciembre de 2019, excepto las parcelas tratadas como administración y calles que se midieron entre febrero y junio de 2020.

Como el año forestal se considera del 1 de octubre al 30 de septiembre, en las tablas se cita como año 2009 el año de los tratamientos y de la primera medición, y 2020 como la actualidad, ya que las mediciones se finalizaron en este año.

#### 3.2.1 Claras

En la masa procedente de repoblación (se plantó con una densidad de 800-1000 pies/ha) se establecieron 12 parcelas de 50x50 m, y se aplicaron 5 tratamientos distintos en el año 2009, cuando la masa tenía 25 años:

- Clara débil (CD): Se basó en el tratamiento clara moderada de las tablas de producción de Montero et al. (2001), se eliminaron el 23% de los pies, considerando 370 pies/ha como arboles de futuro.
- Clara moderada (CM): Se basó en el tratamiento clara fuerte de las tablas de producción de Montero et al. (2001), se eliminaron el 28% de los pies, considerando 333 pies/ha como arboles de futuro.
- Clara fuerte (CF): Fue una propuesta propia del anterior estudio (Poveda, 2010), se eliminaron el 38% de los pies, considerando 200 pies/ha como arboles de futuro.
- Clara por lo alto clásica (CA): los mejores pies son fomentados actuando en torno a ellos y sobre todo eliminando a lo largo del turno a todos aquellos que no alcancen los niveles de calidad exigidos.

- Clara por lo bajo fuerte (CB): intervención decidida de eliminación de todos los pies dominados, más algunos de baja calidad del estrato dominante.

Además, se dejó una parcela sin tratamiento para que actuara como testigo, en la tabla 4 se muestra una lista de las parcelas con el tratamiento aplicado y las coordenadas. En todas las parcelas se aplicó el tratamiento además de en ella en una faja perimetral de 10 m, como amortiguación, se numeraron todos los pies de cada parcela.

*Tabla 4 Localización y tratamiento de las parcelas de claras*

Tratamiento	Parcela	Coordenadas UTM (ETRS89, huso 30)		
		X	Y	Z
CD	4	769919	4473710	460
	8	769471	4474040	496
	10	769328	4474050	506
CM	2	769961	4473650	450
	5	769965	4473760	466
	11	769352	4473980	501
CF	1	770058	4473620	442
	6	769884	4473770	457
	12	769277	4473840	523
CB	3	770004	4473710	455
CA	7	770025	4473820	467
TEST	9	769512	4474150	513

### 3.2.2 Clareos

En la masa procedente de regeneración post-incendio se establecieron 14 parcelas y se aplicaron 5 tratamientos distintos en el año 2009, cuando la parcela tenía 15 años, para los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte se siguió un criterio basado en el índice de Hart-Becking (H-B), este índice no es constante, sino que debe ser mayor en las fases jóvenes y más en especies de luz y pioneras, pero se va reduciendo con la edad.

- Clareo débil (Cd): Se asignó un índice H-B de 0,7, dejando una media 2300 pies/ha
- Clareo moderado (Cm): Se asignó un índice H-B de 1,1, dejando una media de 1200 pies/ha
- Clareo fuerte (Cf): Se asignó un índice H-B de 1,5, dejando una media de 700 pies/ha

Además, se dejaron 3 parcelas sin tratamiento para que actuaran como testigo, en otra parcela se realizó un tratamiento sistemático por calles, que consiste en abrir calles a lo largo de la parcela eliminando el 50% de los pies, y en otra parcela se aplicó un tratamiento siguiendo el criterio aplicado por la Generalitat Valenciana (ADM). En todas las parcelas se aplicó el tratamiento además de en ella además de en una faja perimetral de 10 m, como amortiguación, en este caso no se numeraron los pies. En la tabla 5 se muestran las parcelas con los tratamientos aplicados y las coordenadas.



Tabla 5 Localización y tratamiento de las parcelas de claros

Tratamiento	Parcela	Coordenadas UTM (ETRS89, huso 30)		
		X	Y	Z
CD	3	770829	4473710	434
	5	770707	4473790	436
	10	771895	4473540	372
CM	4	770763	4473750	433
	6	770750	4473850	423
	9	772022	4473490	358
CF	1	770799	4473570	422
	7	770660	4473860	440
	8	770654	4473920	434
TEST	2	770830	4473630	434
	13	771072	4473280	410
	14	770843	4473350	425
CALLES	11	771988	4473590	375
ADM	12	772068	4473610	374

### 3.3 Caracterización de la masa

Para la caracterización de la masa se han tenido en cuenta las principales variables dasométricas, que se pueden clasificar en tres grupos (Del Peso Taranco y Bravo Oviedo, 2004):

- Variables de espesura: son las que condicionan el manejo que se le puede dar a la masa, número de pies por hectárea, área basimétrica, volumen maderable con corteza.
- Variables del árbol media del rodal: como el diámetro medio cuadrático, diámetro y altura medios.
- Variables del árbol dominante: son las que reflejan la calidad de estación, como la altura dominante.

A continuación, se pueden ver los parámetros que han sido utilizados para la caracterización de la masa y que serán empleados para realizar la comparación entre tratamientos, estos coinciden con los empleados por Póveda (2010) con el fin de comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los obtenidos en su trabajo.

- Densidad de la masa (N): La cantidad de pies vivos en cada parcela que proceden del momento en que se creó la masa, es decir, la repoblación en una masa y el regenerado post-incendio en la otra, y no proceden de un regenerado natural posterior; es una variable de espesura. Se mide en pies/ha y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$N (\text{Pies}/\text{ha}) = \frac{\sum \text{pies}}{S_{\text{parcela}}} * 10000$$

- Donde  $\sum \text{pies}$  es el número de pies de la parcela y  $S_{\text{parcela}}$  es la superficie de la parcela en  $\text{m}^2$

- Área basimétrica (AB o G): Suma de las secciones transversales a la altura del diámetro normal de todos los árboles de la parcela empleados en el cálculo de la densidad de la masa, es una variable de espesura. Se mide en m<sup>2</sup> o m<sup>2</sup>/ha y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$G (m^2) = \frac{\pi \sum_{i=1}^n (d_i(m))^2}{4}$$

- Donde **d** es el diámetro normal.

- Volumen con corteza (Vcc): Suma de los volúmenes de todos los árboles de la parcela empleados en el cálculo de la densidad de la masa, es una variable de espesura. Los volúmenes se calculan de forma individual para cada pie aplicando la supertarifa de cubicación establecida en el Tercer Inventario Forestal Nacional (IF3) para la provincia de Castellón. Se mide en m<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>/ha y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Vcc(dm^3) = 0.0010796 * d(mm)^{1.918101} * h(m)^{0.67352}$$

- Donde **d** es el diámetro normal y **h** es la altura.

- Distribución fitosociológica de kraft: La clasificación sociológica de los pies que forman una masa es importante ya que establece criterios cualitativos que complementan a los cuantitativos a la hora de seleccionar los tratamientos más adecuados, estas clasificaciones se basan en la vitalidad, forma del árbol y estrato al que pertenecen (González, 2005). En este trabajo se emplea la clasificación establecida por Kraft en 1984 que define 5 clases, arboles predominantes, dominantes, codominantes, dominados y sumergidos.

- Diámetro cuadrático medio (Dg): Es el diámetro que correspondería al árbol de área basimétrica media (gm), para obtener el área basimétrica media se divide el área basimétrica de la parcela por el número de pies de la parcela. Se mide en cm y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Dg (cm) = \sqrt{\frac{4 \times g_m (cm^2)}{\pi}}$$

- Altura media cuadrática (Hg): Es la altura que correspondería al árbol de área basimétrica media, representa la altura media de la parcela, se calcula empleando la relación altura-diámetro. Se mide en m.

- Relación altura-diámetro: Es la relación entre el diámetro normal (a la altura 1.30 m) y la altura de la parcela, esta relación permite estimar la altura individual de cada pie, la altura dominante de la parcela y se emplea en el cálculo de los volúmenes individuales y totales. Para el cálculo se seleccionan los pies a los que se les ha medido la altura y se relaciona esta con su diámetro probando diferentes modelos curvilíneos buscando el que mejor se ajusta; en el presente trabajo se ha calculado una relación altura-diámetro para cada parcela debido a que la heterogeneidad de condiciones estacionales y el diferente estado silvícola de las masas provocan que una única ecuación altura-diámetro no se ajuste bien a todas las situaciones, por lo que dicha relación debería establecerse de forma individual para cada rodal y rango de edades (Diéguez-Aranda et al., 2005). Se ha empleado el programa Statgraphics Centurion XVII para obtener el modelo que mejor se ajusta en cada parcela.

- Diámetro dominante (Do): Corresponde al diámetro de los cien pies más gruesos por hectárea según el criterio de Assman. Como las parcelas son de 0.25 ha, para el cálculo

del diámetro dominante se ha calculado el diámetro cuadrático medio de los 25 pies más gruesos por parcela.

- **Altura dominante (Ho):** Corresponde a la altura de los cien pies más gruesos por hectárea según el criterio de Assman. Como las parcelas son de 0.25 ha, para el cálculo de la altura dominante se ha calculado la altura cuadrática media de los 25 pies más gruesos por parcela. Para realizar la estimación de la forma más precisa posible, en el caso de tener la altura real para estos pies, se ha empleado esta altura, en caso contrario se ha empleado la altura de estos pies obtenida con la relación altura-diámetro. Se mide en m.
- **Volumen unitario del árbol medio:** Corresponde al volumen del árbol medio de cada parcela, se calcula realizando el cociente entre el volumen existente en una parcela y el número de pies presentes en dicha parcela. Se mide en m<sup>3</sup>/pie.
- **Índice de esbeltez (h/d):** Esta variable puede estudiarse como una variable para cada pie o como una variable de masa, y es el cociente entre la altura total y el diámetro normal. Es un buen indicador para la estabilidad de los pies o de la masa, los valores inferiores a 80 indican una buena estabilidad, los valores que se encuentran entre 81 y 100 indican inestabilidad, y los valores mayores a 100 indican inestabilidades altas. El índice de esbeltez de la parcela se calcula realizando la media aritmética de los índices de esbeltez individuales de los pies de las parcelas. Se calcula a partir de la siguiente expresión:
  - $$h/d = \frac{h(m)}{d(cm)} * 100$$
  - Donde **h** es la altura y **d** el diámetro normal.
- **Crecimiento corriente anual (ica):** Representa la variación anual de la variable a considerar en un periodo establecido de la vida del árbol o de la masa, se calcula como el cociente entre el crecimiento periódico y el número de años del periodo. Se mide en las unidades de la variable/año y se calcula a partir de la siguiente expresión:
  - $$ica = \frac{M-m}{n}$$
  - Donde **M** es el valor de la variable considerada en el momento final del periodo, **m** el valor de la variable considerada en el momento inicial del periodo y **n** el número de años del periodo.
- **Crecimiento medio anual (ima):** Representa la variación anual de la variable a considerar en relación con la edad del árbol o de la masa, se calcula como el cociente entre el valor total acumulado de la variable a considerar y la edad y se calcula a partir de la siguiente expresión:
  - $$ima = \frac{M}{EDAD}$$
  - Donde **M** es el valor total acumulado de la variable considerada.

### 3.4 Diseño del inventario y trabajo de campo

#### 3.4.1 Trabajo de campo previo

En el año 2009, cuando se fijaron las parcelas, se marcaron las esquinas de todas las parcelas con hitos, para poder localizarlas a la hora de realizar los siguientes tratamientos e inventarios.

Durante el presente trabajo, se ha empleado un Navegador GPS para localizar los hitos, en el caso de los hitos rotos, estos han sido repuestos, en el caso de que a alguna parcela le faltara un hito, la posición de este se ha replanteado empleando el resto de hitos de la parcela, ya que la precisión del GPS no era suficiente; en el caso de que faltaran todos los hitos de una parcela, esta ha sido replanteada de nuevo aprovechando los diez metros perimetrales en los que se siguió el mismo tratamiento, de forma que aunque la nueva parcela no coincidiera exactamente con la posición de la anterior se asegura que entre dentro de la zona tratada, cabe destacar que la precisión del GPS empleado era mayor que la del empleado en 2009.

#### 3.4.2 Diseño del inventario en las parcelas de claras

En las parcelas de claras se han tomado datos de diámetros y alturas y se han clasificado los pies según la clasificación fitosociología de Kraft. A continuación, se muestra el procedimiento empleado para medir estos parámetros, siguiendo la metodología establecida por Póveda (2010).

- Medición de los diámetros: Para la medición de los diámetros se ha empleado una cinta diamétrica con precisión milimétrica, se han tomado los datos del diámetro normal (diámetro a la altura de pecho 1.30m) de todos los pies numerados de la parcela.
- Medición de las alturas: Se ha empleado un telémetro láser, de marca Nikon y modelo Forestry Pro para tomar los datos.
  - Según el CIFOR-INIA (González et al., 2004) una muestra de 30 pies es lo suficientemente grande como para ajustar una relación altura-diámetro fiable.
  - Los pies se han seleccionado siguiendo un muestreo estratificado, una vez medidos los diámetros se clasifican los pies en clases diamétricas y se reparten los 30 pies siguiendo la misma proporción que el número de pies por clase diamétrica.
  - Además, hay que tener en cuenta que para el cálculo de la altura dominante es importante que los árboles más gruesos estén suficientemente muestreados, ya que es en esta parte de la curva donde debe haber menor error de estimación (Bengoa, 1999), por ello también se ha medido la altura de los 10 pies más gruesos de cada parcela
- Clasificación fitosociológica de Kraft: Todos los pies numerados de todas las parcelas han sido clasificados siguiendo las clases propuestas por Kraft (González, 2005):
  - Predominantes: Árboles de máxima altura de la masa con copas bien desarrolladas.
  - Dominantes: Árboles pertenecientes al dosel con copas bien desarrolladas.
  - Codominantes: Árboles pertenecientes al dosel, pero que sus copas están poco desarrolladas o limitadas por sus vecinos.
  - Dominados: Árboles con copas poco desarrolladas, no simétricas y cuya altura no alcanza los niveles de los codominantes, y es previsible que en un futuro queden sumergidos.
  - Sumergidos: Árboles que constituyen el subpiso del bosque y que presentan copas paupérrimas y asimétricas.

#### 3.4.3 Diseño del inventario en las parcelas procedentes de clareos

En las parcelas de clareos se han tomado datos de diámetros y alturas de los pies, y además se ha medido la ocupación de las parcelas por especies arbustivas y por regenerado de *Pinus halepensis*, midiendo también la altura media de cada especie arbustiva y del regenerado.

A continuación, se muestra el procedimiento empleado para medir estos parámetros, siguiendo la metodología establecida por Póveda (2010).

- Medición de los diámetros: Los diámetros se han medido siguiendo la misma metodología que en las parcelas de claras, pero en este caso los pies no estaban numerados, sin embargo, en las parcelas testigo y la parcela tratada como calles no se han medido todos los pies, ya que el número de pies por parcela lo hacía inviable, se ha seguido la siguiente metodología:
  - Parcelas testigo: Se han ubicado 9 subparcelas de 2x2m repartidas a lo largo de cada parcela, y se ha medido el diámetro de todos los pies ubicados dentro de cada subparcela, de esta forma a pesar de no medir todos los pies, la muestra representa espacialmente a las parcelas.
  - Parcela con tratamiento calles: En este caso se han ubicado 9 subparcelas de 1x1m, para asegurarse que estas se ubican tanto en las calles como fuera de ellas.
- Medición de las alturas: Se ha empleado el mismo telémetro que en las parcelas anteriores, sin embargo, se ha seguido una metodología distinta ya que en estas parcelas los pies no están numerados por lo que no se puede realizar un muestreo estratificado ni seleccionar los pies más gruesos por parcela.
  - En todas las parcelas excepto en las parcelas testigo se ha medido la altura de uno de cada 5 o de cada 10 árboles a los que se les media el diámetro. En las parcelas con menos de 250 pies se media uno de cada 5, y en las de más se media uno de cada 10.
  - En las parcelas testigo se midió la altura de 4 pies por subparcela establecida para la medición de los diámetros, para que el proceso fuera XXXX se media el pie más cercano a cada esquina.
  - En la parcela con el tratamiento calles se midió un pie por subparcela, para que el proceso fuera sistemático se midió el pie de la primera esquina derecha según el sentido de avance.
- Medición de la proporción y la altura de las especies arbustivas y regenerado: Se han establecido subparcelas dentro de cada parcela para realizar las mediciones, dentro de cada subparcela se ha estimado el porcentaje de ocupación de cada especie arbustiva y del regenerado de *Pinus halepensis*, además con una cinta métrica se ha estimado la altura media de cada especie arbustiva y del regenerado de *Pinus halepensis*. Como regenerado se ha seleccionado los pies establecidos que tienen una mayor posibilidad de supervivencia, sin contar el diseminado (Bravo y Rodríguez-García, 2005; Palacio, 2017). Las subparcelas se han establecido de la siguiente forma:
  - En todas las parcelas, excepto en las testigos y la tratada mediante calles, se han establecido doce parcelas de 4x2m, seis en cada diagonal.
  - En las parcelas testigo y en la tratada mediante calles las mediciones se han realizado en las subparcelas establecidas para medir los diámetros y las alturas.
- A partir de la altura y ocupación de superficie de especies arbustivas se emplean los modelos de combustibles Rothermel & Albini y Scott & Burgan para establecer a que modelo se ajustan las parcelas de cada tratamiento, de forma que se pueda establecer su comportamiento frente a incendios.

### 3.5 Análisis estadístico

Con los resultados del inventario se realiza un análisis estadístico para evaluar y comparar los efectos de cada tratamiento, para ello también se contará con el inventario realizado por Poveda (2010) en el año en el que se establecieron las parcelas.

Para el procesado de los datos y el cálculo de los errores se ha empleado el programa informático Microsoft Excel, posteriormente con el mismo programa se han elaborado los recursos gráficos necesarios para representar de una forma más clara los datos y resultados obtenidos.

El crecimiento de ambas masas y la presencia de matorral en la masa procedente de regeneración post-incendio se ha evaluado mediante un análisis estadístico empleando el programa informático Statgraphics Centurion XVII.

Antes de realizar el análisis se ha realizado el test de Levene para evaluar la homocedasticidad de los datos y el test de Saphiro-Wilk para evaluar la normalidad, ya que estas condiciones deben darse para poder realizar un análisis ANOVA. Los tests no han sido favorables, por lo que para el análisis se ha realizado la prueba de Kruskal-Wallis que en lugar de comparar las medias emplea las medianas, pero tiene la misma función que ANOVA. Se ha fijado un nivel de significancia de 0.05 y un valor de confianza de 95%, de forma que si el valor es menor a 0.05 se puede decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Después de realizar la prueba Kruskal-Wallis, para la variable que han resultado tener una diferencia significativa se comprueba que grupos son los significativamente distintos, empleando el método de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Debido a que no se realizaron tres parcelas por cada tipo de tratamiento no se pueden extraer conclusiones científicas para todos los tratamientos, restringiéndose las conclusiones fiables estadísticamente a los tratamientos clara débil, modera y fuerte en las parcelas de claras, y a los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte más el testigo en las parcelas de clareos. Por lo que no se pueden extraer conclusiones de los tratamientos clara por lo alto, por lo bajo y el testigo en las parcelas de claras, ni en el tratamiento por calles ni el criterio de la administración en las parcelas de clareos.

En clareos los tratamientos de calles y administración se ejecutaron para docencia, pero sin afán estadístico al ser los que se aplicaban de forma generalizada en la zona por la Administración forestal. En claras los tratamientos testigo y por lo alto y por lo bajo solo tenían un fin docente pero no de investigación en el caso por lo alto y por lo bajo mientras que la baja densidad de partida restaba todo interés a la parcela testigo siendo lo relevante la respuesta a las 3 intensidades de tratamiento.

En el anexo 2 se muestra de forma detallada los resultados del análisis estadístico.

### 3.6 Limitaciones

Durante la fase previa a la realización del inventario, a la hora de localizar los hitos que marcan los vértices de las parcelas se comprobó que muchos se habían perdido, no siendo esto un problema en las parcelas de claras, ya que los pies están numerados y se pueden localizar sin necesidad de los hitos, en cambio en las parcelas de clareos los pies no están numerados por lo que es necesario tener localizados los vértices de las parcelas para comprobar que pies entran dentro de la misma, por ello fue necesario replantear de nuevo los vértices sin hito.

A la hora de realizar el replanteo, la precisión del GPS era en el mejor de los casos de tres metros, por lo que en las parcelas en las que no faltaban todos los hitos se tuvieron que colocar los hitos faltantes mediante perpendiculares y distancias respecto a los hitos presentes, al haber una distancia de cincuenta metros entre vértices, por la presencia de matorral y ramas de los árboles, no se alcanzaba a ver un vértice desde la posición del otro vértice, por lo que hubo que replantear por tramos, disminuyendo la precisión del replanteo.

En una de las parcelas no se encontró ninguno de los hitos, por lo que el primero de ellos hubo que colocarlo mediante GPS, que como ya se ha comentado tenía una precisión menor a tres metros, gracias a la banda perimetral de tratamiento de 10 m se permite asegurar que toda la parcela ha sido tratada idénticamente.

En cuanto al análisis de los resultados, se ha comprobado que la densidad con la que se repobló en el año 1984 fue de baja densidad (800-1.000 pies/ha), por lo que la densidad de las parcelas después de ser tratadas mediante las diferentes tipologías de claras no difiere mucho entre ellas.

En el año 2009, en las parcelas de claros no se tomaron datos de diámetros en las parcelas testigo y en las tratadas mediante el criterio de la administración y el criterio calles, por lo que limita el análisis que se puede hacer de los resultados.

En varios de los tratamientos, tanto en las parcelas de claras como en las de claros, solo se estableció una parcela, por lo que, a la hora de realizar el análisis, los resultados obtenidos en estos tratamientos pueden no ser significativos.

El trabajo entra dentro de un estudio con un marco temporal muy amplio, que busca resultados a largo plazo, en este trabajo se obtiene los primeros resultados después de diez años del primer tratamiento, por lo que todavía no se han obtenido resultados definitivos.

## 4 Resultados y discusión

De los principales factores que influyen en el crecimiento y en la evolución, que son la edad, la calidad de estación y la espesura (Clutter et al., 1983), la espesura es sobre el que se puede actuar aplicando tratamientos silvícolas, controlando el desarrollo y la productividad de la masa forestal.

### 4.1 Resultados en parcelas de claras

En este apartado se va a comparar como han afectado las diferentes modalidades e intensidades de claras al desarrollo de las parcelas. En la tabla 6 se recoge una síntesis de los datos obtenidos desde el comienzo del estudio en el año 2009 hasta los datos recogidos en la actualidad.

A la hora de analizar los resultados hay que tener en cuenta que para el tratamiento clara débil, clara moderada y clara fuerte, se disponen de tres parcelas por tratamiento, mientras que para el testigo y los tratamientos clara por lo alto y clara por lo bajo solo se dispone de una parcela para cada uno de ellos, por lo que, aunque se muestren y comenten todos los resultados, únicamente son estadísticamente relevantes las comparaciones entre clara débil, moderada y fuerte.

Tabla 6 Síntesis de los datos de las parcelas de claras obtenidos en el estudio (2009-2020)

	PRE TRATAMIENTOS 2009 (25 años)					MASA ELIM.	POST TRATAMIENTOS 2009 (25 años)					PIES MUERT	PRE TRATAMIENTO 2020 (35 años)				
	pies/ha	Dg (cm)	Hg (cm)	AB (m2/ha)	V (m3/ha)	pies/ha	pies/ha	Dg (cm)	Hg (cm)	AB (m2/ha)	V (m3/ha)	pies/ha	pies/ha	Dg (cm)	Hg (m)	AB (m2/ha)	Volumen (m3/ha)
4	748	14.53	7.90	12.40	45.83	148	600	14.49	7.892	9.16	33.93	32	568	22.41	8.80	22.40	82.11
8	684	17.06	7.95	15.64	58.77	136	548	17.09	7.962	11.57	43.51	52	496	22.15	8.98	19.10	75.44
10	820	17.45	8.73	19.62	78.07	252	568	18.09	8.833	14.20	56.69	16	552	22.89	10.88	22.72	100.76
<b>CD</b>	<b>751</b>	<b>16.35</b>	<b>8.20</b>	<b>15.89</b>	<b>60.89</b>	<b>179</b>	<b>572</b>	<b>16.56</b>	<b>8.23</b>	<b>11.64</b>	<b>44.71</b>	<b>33</b>	<b>539</b>	<b>22.48</b>	<b>9.56</b>	<b>21.41</b>	<b>86.11</b>
2	736	15.10	7.84	13.18	49.36	200	536	15.34	7.873	9.24	34.60	32	504	21.39	8.92	18.11	70.80
5	736	15.48	7.50	13.85	50.57	188	548	15.91	7.604	9.38	34.42	100	448	21.85	9.01	16.80	65.98
11	816	16.34	8.91	17.11	70.59	304	512	17.18	9.154	10.75	44.97	72	440	23.11	9.86	18.45	76.62
<b>CM</b>	<b>763</b>	<b>15.64</b>	<b>8.08</b>	<b>14.71</b>	<b>56.84</b>	<b>231</b>	<b>532</b>	<b>16.14</b>	<b>8.21</b>	<b>9.79</b>	<b>38.00</b>	<b>68</b>	<b>464</b>	<b>22.12</b>	<b>9.26</b>	<b>17.79</b>	<b>71.13</b>
1	612	15.57	7.79	11.65	43.30	212	400	15.90	7.883	6.91	25.79	16	384	22.33	9.38	15.04	60.89
6	812	16.22	8.35	16.78	64.87	280	532	16.58	8.416	10.19	39.53	76	456	22.26	9.69	17.75	73.04
12	724	16.91	8.24	16.27	62.53	288	436	17.13	8.288	9.13	35.21	56	380	22.99	9.48	15.78	63.70
<b>CF</b>	<b>716</b>	<b>16.23</b>	<b>8.13</b>	<b>14.90</b>	<b>56.90</b>	<b>260</b>	<b>456</b>	<b>16.53</b>	<b>8.20</b>	<b>8.74</b>	<b>33.51</b>	<b>49</b>	<b>407</b>	<b>22.53</b>	<b>9.51</b>	<b>16.19</b>	<b>65.88</b>
3	660	15.85	8.10	13.03	49.82	152	508	16.44	8.233	10.18	39.19	20	488	22.80	9.82	19.93	82.71
<b>CB</b>	<b>660</b>	<b>15.85</b>	<b>8.10</b>	<b>13.03</b>	<b>49.82</b>	<b>152</b>	<b>508</b>	<b>16.44</b>	<b>8.23</b>	<b>10.18</b>	<b>39.19</b>	<b>20</b>	<b>488</b>	<b>22.80</b>	<b>9.82</b>	<b>19.93</b>	<b>82.71</b>
7	736	15.41	7.28	13.73	49.67	276	460	14.98	7.177	7.55	27.07	36	424	21.02	8.53	14.71	55.70
<b>CA</b>	<b>736</b>	<b>15.41</b>	<b>7.28</b>	<b>13.73</b>	<b>49.67</b>	<b>276</b>	<b>460</b>	<b>14.98</b>	<b>7.18</b>	<b>7.55</b>	<b>27.07</b>	<b>36</b>	<b>424</b>	<b>21.02</b>	<b>8.53</b>	<b>14.71</b>	<b>55.70</b>
9	728	16.92	7.53	16.37	59.20	0	728	16.95	7.539	16.34	59.10	8	720	21.39	9.43	25.88	104.85
<b>TEST</b>	<b>728</b>	<b>16.92</b>	<b>7.53</b>	<b>16.37</b>	<b>59.20</b>	<b>0</b>	<b>728</b>	<b>16.95</b>	<b>7.54</b>	<b>16.34</b>	<b>59.10</b>	<b>8</b>	<b>720</b>	<b>21.39</b>	<b>9.43</b>	<b>25.88</b>	<b>104.85</b>



#### 4.1.1 Efectos sobre el crecimiento y las características del árbol medio en las parcelas de claras

En la tabla 7 se muestran los valores medios de los crecimientos medios anuales, crecimientos corrientes anuales y volumen unitario del árbol medio para cada tratamiento, estos han sido obtenidos a partir de los datos de la tabla 6. Los crecimientos medios anuales se calculan con los datos de la masa antes de las cortas de 2009; los datos de crecimientos corrientes se calculan con los datos de la masa después de la corta de 2009 y los datos de la masa en 2020 los valores del volumen unitario del árbol medio del año 2009 se calculan con los datos después de la corta.

Se puede observar cómo los valores de crecimientos medios anuales en el año 2009 son similares para todos los tratamientos, esto es debido a que se trata de una masa coetánea que no había sido intervenida hasta el momento.

Al comparar los valores de crecimientos medios anuales del año 2009 con los del 2020, se puede observar como el crecimiento en diámetro y altura se mantienen prácticamente constantes en todos los tratamientos, sin embargo, a pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas, al comparar los valores de área basimétrica y volumen se observa como para los tratamientos menos intensos (clara débil y clara por lo bajo) y la testigo el crecimiento en área basimétrica se mantiene constante y el crecimiento en volumen aumenta, pero en los tratamientos más intensos (clara moderada, clara fuerte y clara alta) el crecimiento medio acumulado hasta 2020, tanto en área basimétrica como en volumen disminuye respecto al crecimiento medio acumulado hasta 2009, esto puede ser debido a que la intensidad de los tratamientos fue demasiado alta y los pies remanentes no han sido suficientes para recuperar el crecimiento de la masa aunque el período transcurrido sea insuficiente para extraer conclusiones definitivas.

Si comparamos los valores crecimientos corrientes anuales con los valores de crecimientos medios anuales acumulados hasta 2020 de la parcela testigo, que al no haber sido trata representa la evolución natural de la masa, se puede comprobar como el crecimiento corriente en diámetro y altura es menor que el crecimiento medio, pero el crecimiento corriente en área basimétrica y volumen es mayor que el crecimiento medio, por lo que se puede deducir que la masa ha alcanzado la edad de máximo crecimiento medio en diámetro y altura pero no en área basimétrica y volumen.

El caso del crecimiento en altura, que es el que tiene una mayor diferencia entre crecimiento corriente y crecimiento medio, podría estar explicado por que el *Pinus halepensis* es una especie de luz, por lo que culmina crecimiento en altura antes que el resto de los crecimientos (González, 2005).

Tabla 7 Valores promedio, por tratamiento, de crecimientos medios anuales, crecimientos corrientes y volumen unitario del árbol medio en las parcelas de claras

	CRECIMIENTO S MEDIOS ANUALES 2009 (25 años)				CRECIMIENTOS MEDIOS ANUALES 2020				CRECIMIENTOS CORRIENTES ANUALES				V. UNITARIO ARBOL MEDIO	
	ima Dg	ima Hg	ima AB	ima V	ima Dg	ima Hg	ima AB	ima V	ica Dg	ica Hg	ica AB	ica V	2009	2020
	cm/ año	m/ año	m2/ha -año	m3/ha -año	cm/ año	m/ año	m2/ha -año	m3/ha -año	cm/ año	m/ año	m2/ha -año	m3/ha -año	m3/pie	m3/pie
CD	0.65	0.33	0.64	2.44	0.64	0.27	0.61	2.46	0.59	0.13	0.98	4.14	0.08	0.16
CM	0.63	0.32	0.59	2.27	0.63	0.26	0.51	2.03	0.60	0.11	0.80	3.31	0.07	0.15
CF	0.65	0.33	0.60	2.28	0.64	0.27	0.46	1.88	0.60	0.13	0.74	3.24	0.07	0.16
CB	0.63	0.32	0.52	1.99	0.65	0.28	0.57	2.36	0.64	0.16	0.97	4.35	0.08	0.17
CA	0.62	0.29	0.55	1.99	0.60	0.24	0.42	1.59	0.60	0.14	0.72	2.86	0.06	0.13
TEST	0.68	0.30	0.65	2.37	0.61	0.27	0.74	3.00	0.44	0.19	0.95	4.57	0.08	0.15

Si comparamos el crecimiento corriente en diámetro del árbol medio por tratamientos, a pesar de que las diferencias no son estadísticamente significativas, se puede ver como la parcela testigo tiene una menor evolución que el resto de los tratamientos, que tienen un crecimiento en diámetro similar entre ellos. Este menor crecimiento en la parcela testigo podría ser debido a la excesiva competencia entre pies provocada por la densidad de pies. En la tabla 8 y en la figura 3 se muestra la evolución del diámetro del árbol medio.

Tabla 8 Evolución del crecimiento en diámetro del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras

Dg (cm)	2009	2020	ica Dg (cm/año)
CD	16.56	22.48	0.59
CM	16.144	22.12	0.60
CF	16.53	22.53	0.60
CB	16.44	22.80	0.64
CA	14.98	21.01	0.60
TEST	16.95	21.39	0.44

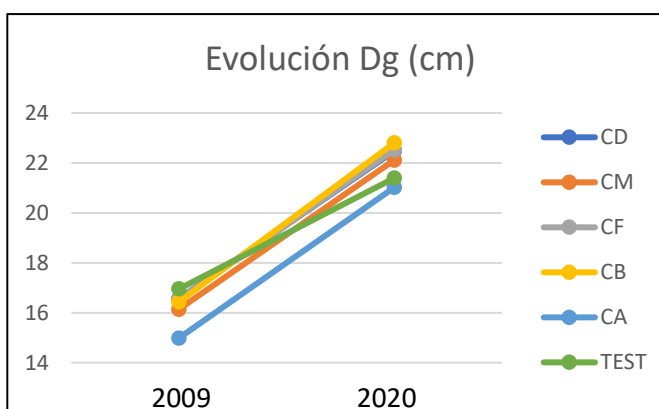


Figura 3 Evolución del diámetro del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

En cuanto a la evolución en altura, ocurre el caso contrario, siendo la parcela testigo la que tiene un mayor crecimiento corriente, esto podría deberse a que al tener una mayor densidad que el resto de las parcelas, haya una mayor competencia por la luz. Las diferencias son estadísticamente significativas. En la tabla 9 y la figura 4 se muestra la evolución en altura.

Tabla 9 Evolución del crecimiento en altura del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras

Hg (cm)	2009	2020	ica Hg (m/año)
CD	8.23	9.56	0.13
CM	8.21	9.26	0.11
CF	8.20	9.51	0.13
CB	8.23	9.82	0.16
CA	7.18	8.53	0.14
TEST	7.54	9.43	0.19

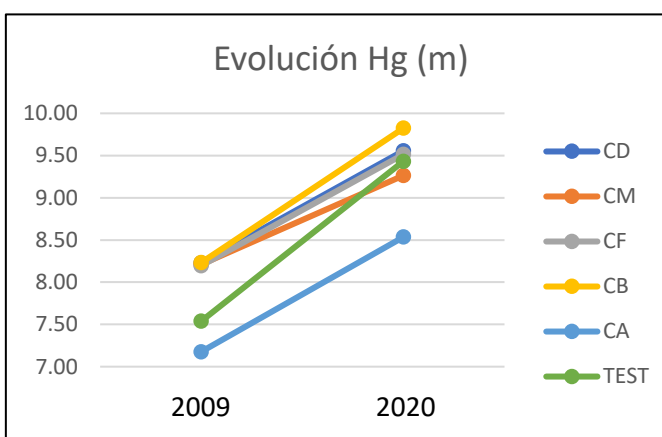


Figura 4 Evolución de la altura del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

En cuanto a la evolución en área basimétrica, como ya se ha comentado, los tratamientos con un mayor crecimiento han sido los menos intensos (testigo, clara débil y clara baja). Los tratamientos CB y CD no han comportado una disminución de crecimiento en AB respecto al testigo, sin embargo, en los tratamientos más agresivos sí se constata esta disminución, si nos fijamos en la tabla 10 y la figura 5 se puede observar cómo cuanto más área basimétrica se eliminó menor ha sido el crecimiento. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

Tabla 10 Evolución del crecimiento en área basimétrica por tratamiento en las parcelas de claras

AB (m <sup>2</sup> /ha)	2009	2020	ica AB (m <sup>2</sup> /ha-año)
CD	11.64	21.41	0.98
CM	9.79	17.79	0.80
CF	8.74	16.19	0.74
CB	10.18	19.93	0.97
CA	7.55	14.71	0.72
TEST	16.34	25.88	0.95

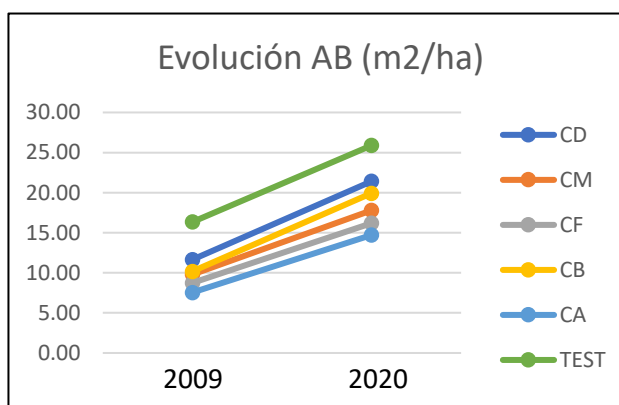


Figura 5 Evolución del área basimétrica del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

Al observar la tabla 11 y la figura 6, se puede comprobar como el comportamiento de los tratamientos en cuanto a la evolución en existencias es similar al comportamiento en crecimiento en área basimétrica. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

Tabla 11 Evolución del crecimiento en existencias por tratamiento en las parcelas de claras

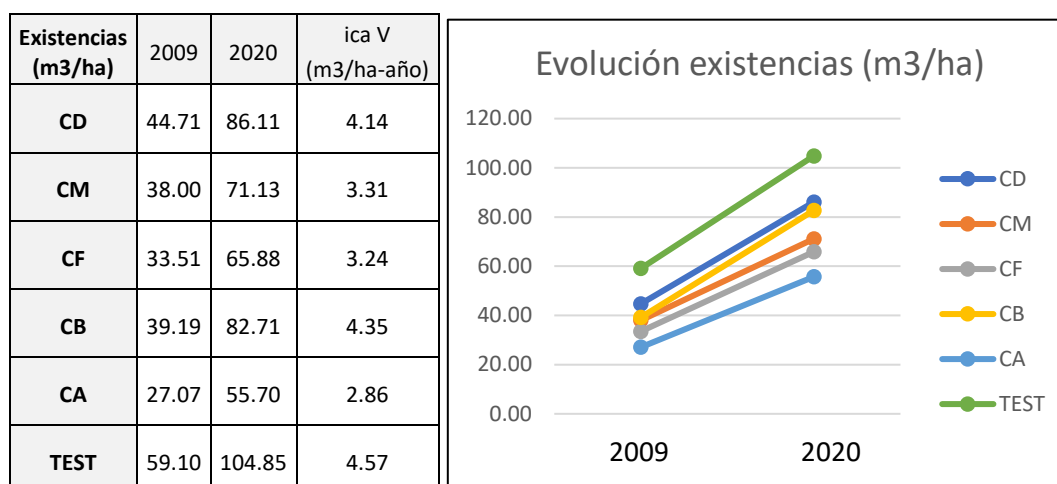


Figura 6 Evolución en existencias entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

En la figura 7 se muestra la Variación del crecimiento corriente en volumen (ica V), frente al área basimétrica postratamiento en 2009 (AB res), ambos expresados como porcentaje respecto al valor del testigo. Con este grafico se pretende mostrar cómo ha evolucionada la masa en volumen según el porcentaje de área basimétrica que quedó después del tratamiento, se puede observar como el crecimiento va disminuyendo conforme aumenta la intensidad del tratamiento. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

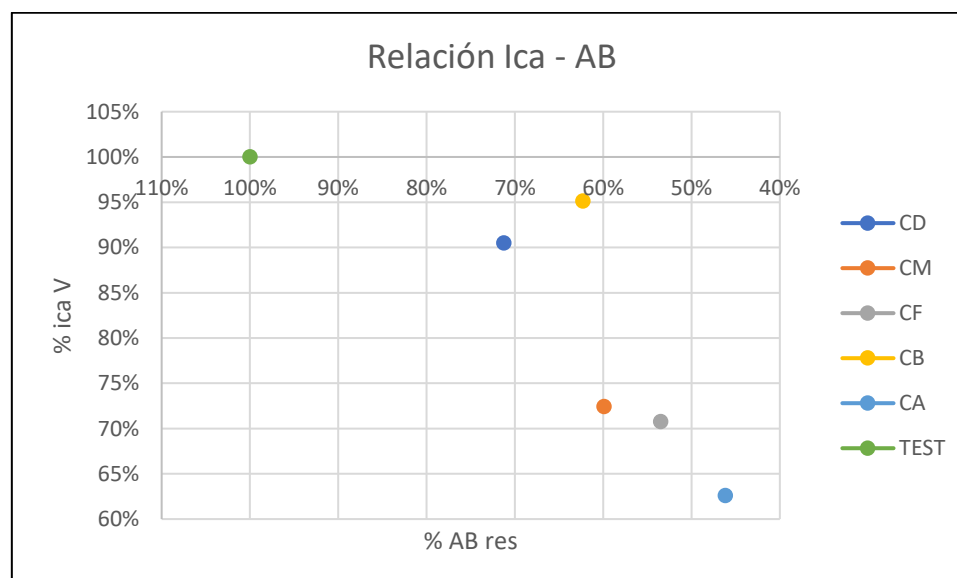


Figura 7 Variación del incremento corriente en volumen (expresado como porcentaje respecto al incremento corriente en volumen del testigo), frente al área basimétrica residual (expresado como porcentaje respecto al área basimétrica del testigo) en las parcelas de claras

Este comportamiento en crecimiento en área basimétrica y volumen puede ser explicado por lo comentado anteriormente, debido a la baja densidad de repoblación, en los tratamientos de mayor intensidad esta fue demasiado alta y los pies remanentes no han sido suficientes para recuperar el crecimiento de la masa, al menos pasados 10 años desde el tratamiento.

Si nos fijamos en la tabla 12 y la figura 8, donde se muestra la evolución el volumen del árbol medio, podemos ver que el testigo y la clara alta son las que tienen una menor evolución; en cuanto al testigo, esto puede ser debido a que hay un excesivo número de pies que impide el crecimiento, mientras que en el tratamiento clara por lo alto se busca una selección positiva actuando sobre pies dominantes y codominantes para quitar competencia directa y de esta forma favorecer a los pies del futuro, por lo que en este tratamiento se actúa menos en el estrato dominado, lo que provoca una disminución en la media del crecimiento, lo que no tiene por qué ser negativo a largo plazo.

El mayor crecimiento se obtiene con el tratamiento clara por lo bajo, donde ocurre el caso contrario que en la clara por lo alto, al no haber actuado sobre el estrato dominante, centrándose principalmente en los estratos dominados y sumergidos, la parcela tiene un mayor crecimiento medio, sin embargo, esto podría ser contraproducente ya que, al no eliminar competencia directa entre los pies dominantes y predominantes, estos podrían tener un crecimiento menor a largo plazo. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

Tabla 12 Evolución del crecimiento en volumen del árbol medio por tratamiento en las parcelas de claras

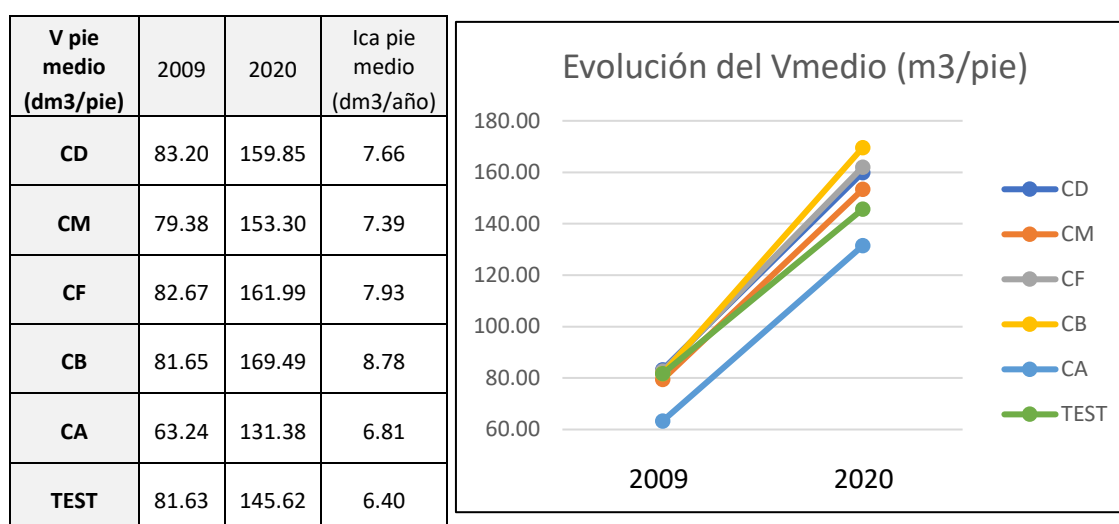


Figura 8 Evolución del volumen del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

En la figura 9 se muestra la variación del volumen del árbol medio del 2020, frente al área basimétrica residual en el año 2009 (AB res), ambos expresados como porcentaje respecto al valor del testigo. Se pretende mostrar cómo han evolucionado los pies en volumen según cuanta área basimétrica quedo después del tratamiento. En todos los tratamientos excepto en la clara por lo alto el volumen del árbol medio es mayor que en el testigo, el dato de este tratamiento podría explicarse por lo comentado anteriormente sobre la peculiaridad de este tratamiento. Las diferencias no son estadísticamente significativas.

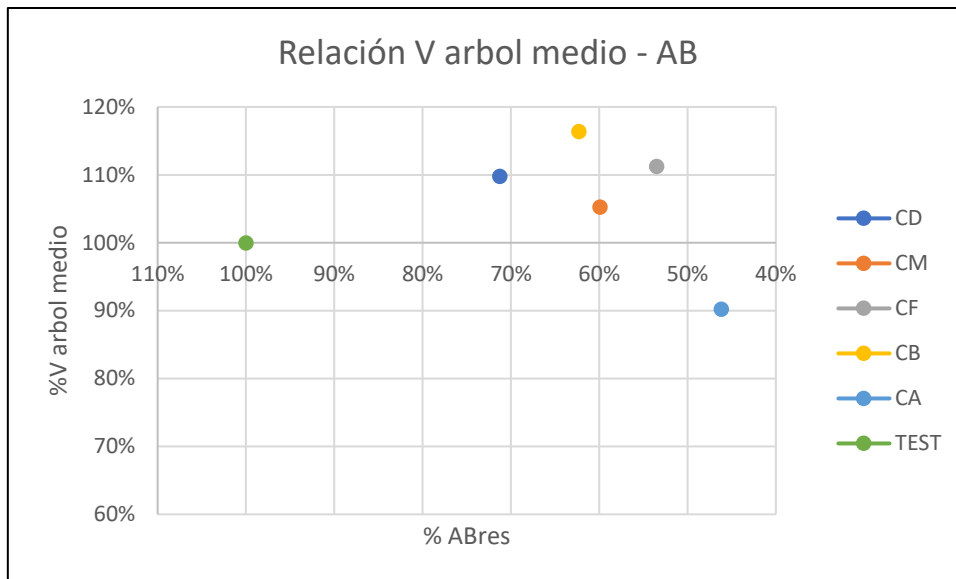


Figura 9 Variación del volumen del árbol medio en 2020 (expresado como porcentaje respecto al volumen del árbol medio del testigo), frente al área basimétrica residual (expresado como porcentaje respecto al área basimétrica del testigo) en las parcelas de claras

Para comprobar cómo afecta cada tratamiento a los pies de mayor diámetro, que podrían ser los árboles de futuro, se ha realizado una media de los diámetros de los 50 pies más gruesos por parcela para comprobar su evolución en cada tratamiento.

De esta forma, se puede ver como la clara débil y el testigo tienen una menor evolución que el resto de los tratamientos, que son muy similares entre ellos. Las diferencias no son estadísticamente significativas. En la tabla 13 y la figura 10 se muestra esta evolución.

Tabla 13 Evolución del crecimiento del diámetro de los 50 pies más gruesos por parcela por tratamiento en las parcelas de claras

D 50 pies mayor d (cm)	2009	2020	Incremento (cm)
CD	19.26	24.98	5.74
CM	18.61	25.26	6.61
CF	18.53	25.07	6.64
CB	18.86	25.55	6.69
CA	17.39	23.92	6.52
TEST	20.09	25.53	5.44

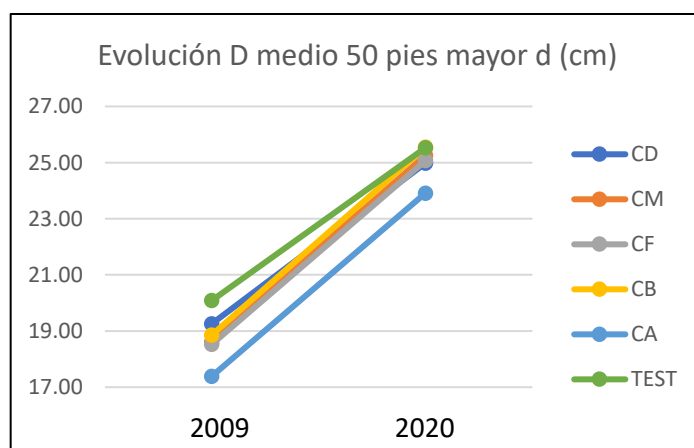


Figura 10 Evolución del diámetro de los cincuenta pies más gruesos por parcela entre 2009 y 2020 por tratamiento en las parcelas de claras

Las parcelas fueron repobladas en baja densidad (800-100 árboles/ha) por lo que los tratamientos no difirieron sustancialmente entre sí y se requiere sin duda de una observación más prolongada en el tiempo considerando el turno de la especie (80-100 años) para poder constatar diferencias entre ellos.

#### 4.1.2 Efecto de los tratamientos sobre la mortandad

En la tabla 14 se muestra la evolución de la densidad de las parcelas desde el inicio del estudio hasta la actualidad. Si nos fijamos en la mortandad entre 2009 después del tratamiento y la actualidad, se puede observar que, a pesar de que las diferencias no son estadísticamente significativas, la mortandad es menor en los tratamientos menos intensos, esto puede ser debido a que esa mayor densidad ofrece una mayor protección a la masa contra eventos climatológicos como fuertes rachas de viento, dificultando la circulación de este de forma que se reduce la fuerza (Martín et al., 2009).

Tabla 14 Evolución de la densidad de las parcelas de claras desde el inicio del estudio hasta la actualidad

	Masa pretaramiento 2009	Masa eliminada 2009		Masa remanente 2009	Pies muertos 2009-2020		Masa 2020
	pies/ha	pies/ha	%	pies/ha	pies/ha	%	pies/ha
4	748	148	19.79	600	32	5.33	568
8	684	136	19.88	548	52	9.49	496
10	820	252	30.73	568	16	2.82	552
<b>CD</b>	<b>751</b>	<b>179</b>	<b>23.80</b>	<b>572</b>	<b>33</b>	<b>5.83</b>	<b>539</b>
2	736	200	27.17	536	32	5.97	504
5	736	188	25.54	548	100	18.25	448
11	816	304	37.25	512	72	14.06	440
<b>CM</b>	<b>763</b>	<b>231</b>	<b>30.24</b>	<b>532</b>	<b>68</b>	<b>12.78</b>	<b>464</b>
1	612	212	34.64	400	16	4.00	384
6	812	280	34.48	532	76	14.29	456
12	724	288	39.78	436	56	12.84	380
<b>CF</b>	<b>716</b>	<b>260</b>	<b>36.31</b>	<b>456</b>	<b>49</b>	<b>10.82</b>	<b>407</b>
3	660	152	23.03	508	20	3.94	488
<b>CB</b>	<b>660</b>	<b>152</b>	<b>23.03</b>	<b>508</b>	<b>20</b>	<b>3.94</b>	<b>488</b>
7	736	276	37.50	460	36	7.83	424
<b>CA</b>	<b>736</b>	<b>276</b>	<b>37.50</b>	<b>460</b>	<b>36</b>	<b>7.83</b>	<b>424</b>
9	728	0	0	728	8	1.10	720
<b>TEST</b>	<b>728</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>728</b>	<b>8</b>	<b>1.10</b>	<b>720</b>

#### 4.1.3 Comparación con las tablas de producción de Montero (2000, 2001)

Comparando la altura dominante de las parcelas con las alturas dominantes de las calidades de estación en las tablas de producción de Montero, la masa está ubicada sobre un terreno cuya calidad de estación se encuentra entre 14 y 17, haciendo una interpolación su calidad de estación sería de 16.5.

Sin embargo, las densidades de las parcelas no coinciden con ninguna de las intensidades planteadas por Montero a esa edad en estas calidades de estación, siendo la densidad de las parcelas estudiadas cercana a los 700 pies/ha a los 25 años de edad y cercana a los 500 pies/ha a los 35 años de edad, mientras que según Montero et al. (2001) en la calidad de estación 17, para el tratamiento más intenso las densidades son de 1017 pies/ha a los 25

años y de 648 pies/ha a los 35 años, mientras que a los 40 años tras el tratamiento la densidad es de 519 pies/ha, que se asemeja a la situación actual de las parcelas del estudio.

Al comparar los crecimientos corrientes en diámetro del árbol medio y en área basimétrica, entre los 25 y los 35 años, obtenidos en el presente estudio con los crecimientos de las tablas de producción de Montero, se observa que los crecimientos obtenidos en el presente estudio son mayores, tanto en diámetro como en área basimétrica.

En cuanto al crecimiento corriente en área basimétrica entre los 25 y los 35 años, en las tablas de producción de Montero es de 0.66 m<sup>2</sup>/ha-año, y los obtenidos en el presente estudio varían entre 0.72 y 0.98 m<sup>2</sup>/ha-año. El crecimiento medio anual acumulado en área basimétrica de las tablas de Montero es similar al obtenido en el tratamiento clara débil, y mayor que el obtenido en los tratamientos clara fuerte y moderada.

Si se comparan con los crecimientos en una calidad de estación 20, los del presente estudio siguen siendo mayores, siendo los de las tablas de Montero de 0.705 m<sup>2</sup>/ha-año.

Según las tablas de Montero et al. (2001), para una calidad de estación 16.5 y un tratamiento moderado, el crecimiento corriente en volumen entre los 25 y los 35 años es de 4.05 m<sup>3</sup>/ha-año, mientras que el crecimiento corriente medido en nuestro estudio es de 4.14, 3.31 y 3.24 m<sup>3</sup>/ha-año para las claras débil, moderada y fuerte respectivamente. El crecimiento medio en volumen en las tablas de producción es de 2.67 m<sup>3</sup>/ha-año a los 35 años, mientras que en el presente estudio se ha medido 2.46, 2.03 y 1.88 m<sup>3</sup>/ha-año para los tratamientos mencionados anteriormente. El tratamiento clara débil se asemeja a los crecimientos en volumen de las tablas de producción, y las claras moderada y fuerte presentan un menor crecimiento.

## 4.2 Resultados en parcelas de clareos

En este apartado se va a comparar como han afectado las diferentes modalidades e intensidades de claras al desarrollo de las parcelas. En la tabla 15 se recoge una síntesis de los datos obtenidos desde el comienzo del estudio en el año 2009 hasta los datos recogidos en la actualidad.

Hay que tener en cuenta que en los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte y para el testigo, se dispone de tres parcelas de cada uno, sin embargo, para el tratamiento calles y el de criterio de la administración solo se dispone de una parcela por tratamiento, por lo que los resultados obtenidos para estos últimos no son estadísticamente relevantes, aunque se comenten en el trabajo.

El volumen se ha calculado según la tarifa de cubicación del tercer inventario forestal, por lo que en las parcelas testigo y tratamiento calles puede haber errores, debido a que el ajuste de la tarifa de cubicación en pies de tan poco diámetro puede no ser exacto.



Tabla 15 Síntesis de los datos de las parcelas de clareos obtenidos en el estudio (2009-2020)

	PRE TRATAMIENTOS 2009			POST TRATAMIENTOS 2009						PRE TRATAMIENTO 2020						
	pies/ha	Hm (m)	Ho (m)	pies/ha	Dg (cm)	Hm (m)	Ho (m)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	V (m <sup>3</sup> /ha)	pies/ha	Dg (cm)	Hg (m)	Hm (m)	Ho (m)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
3	268333	1,99	2,96	2708	2,51	2,489	3,752	1,34	2,14	2168	8,00	5,28	5,05	6,65	10,90	30,97
5	244167	2,08	3,22	1720	3,22	3,086	4,075	1,40	2,65	1412	10,09	6,35	6,31	8,01	11,30	33,62
10	195000	1,89	2,58	2548	2,33	2,361	3,752	1,09	1,67	2228	7,10	4,94	4,75	6,58	8,82	25,01
<b>CD</b>	<b>235833</b>	<b>1,99</b>	<b>2,92</b>	<b>2325</b>	<b>2,69</b>	<b>2,646</b>	<b>3,860</b>	<b>1,28</b>	<b>1,28</b>	<b>1936</b>	<b>8,40</b>	<b>5,52</b>	<b>5,37</b>	<b>7,08</b>	<b>10,34</b>	<b>29,87</b>
4	300625	1,91	2,58	976	3,39	2,845	3,863	0,88	1,57	784	11,45	5,90	5,74	7,02	8,07	22,63
6	253542	1,94	2,70	1060	2,73	2,657	3,710	0,62	1,02	1040	9,44	5,23	5,06	6,05	7,27	19,91
9	146042	1,79	3,30	1512	1,93	2,064	2,970	0,44	0,56	1240	6,94	3,89	3,83	4,52	4,69	11,99
<b>CM</b>	<b>233403</b>	<b>1,88</b>	<b>2,86</b>	<b>1183</b>	<b>2,68</b>	<b>2,522</b>	<b>3,514</b>	<b>0,65</b>	<b>0,65</b>	<b>1021</b>	<b>9,27</b>	<b>5,01</b>	<b>4,87</b>	<b>5,86</b>	<b>6,68</b>	<b>18,17</b>
1	135000	1,65	3,02	800	2,44	2,407	3,041	0,38	0,52	700	8,60	4,65	4,55	5,48	4,07	10,84
7	228542	1,95	2,82	784	3,15	2,827	3,605	0,61	0,99	592	10,72	5,12	5,09	5,87	5,35	14,28
8	225833	2,46	2,44	596	3,39	3,211	3,832	0,54	0,95	472	11,14	5,53	5,51	5,96	4,60	12,60
<b>CF</b>	<b>196458</b>	<b>2,02</b>	<b>2,76</b>	<b>727</b>	<b>3,00</b>	<b>2,815</b>	<b>3,493</b>	<b>0,51</b>	<b>0,51</b>	<b>588</b>	<b>10,16</b>	<b>5,10</b>	<b>5,05</b>	<b>5,77</b>	<b>4,67</b>	<b>12,57</b>
2	228125	2,05	3,00	228125	-	2,05	3,00	-	-	123333	1,86	3,35	3,06	4,71	33,51	102,36
13	50435	2,48	3,51	50435	-	2,48	3,51	-	-	43056	3,96	5,16	4,74	5,87	53,15	171,18
14	63000	1,65	-	63000	-	1,65	-	-	-	30278	4,30	4,96	4,68	5,72	43,95	136,02
<b>TEST</b>	<b>113853</b>	<b>2,06</b>	<b>3,25</b>	<b>228125</b>	<b>-</b>	<b>2,06</b>	<b>3,25</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>65556</b>	<b>3,37</b>	<b>4,49</b>	<b>3,90</b>	<b>5,43</b>	<b>43,54</b>	<b>136,52</b>
11	131667	1,93	2,30	65833	-	-	2,30	-	-	59167	2,90	4,10	3,27	6,16	38,99	122,48
<b>CALLES</b>	<b>131667</b>	<b>1,93</b>	<b>2,30</b>	<b>65833</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2,30</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>59167</b>	<b>2,90</b>	<b>4,10</b>	<b>3,27</b>	<b>6,16</b>	<b>38,99</b>	<b>122,48</b>
12	19792	1,91	3,70	2969	-	-	-	-	-	1568	8,51	5,79	5,60	7,39	8,91	26,20
<b>ADM</b>	<b>19792</b>	<b>1,91</b>	<b>3,70</b>	<b>2969</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1568</b>	<b>8,51</b>	<b>5,79</b>	<b>5,60</b>	<b>7,39</b>	<b>8,91</b>	<b>26,20</b>

#### 4.2.1 Efectos sobre el crecimiento y las características del árbol medio en las parcelas de clareos

En la tabla 16 se muestran los valores medios de los crecimientos anuales, crecimientos corrientes anuales y volumen unitario del árbol medio para cada tratamiento, estos han sido obtenidos a partir de los datos de la tabla 15. Para el año 2009, antes de realizar el tratamiento solo se tomaron datos de alturas y número de pies, por lo que solo ha sido posible calcular el crecimiento medio anual del año 2009 para la altura media. En el año 2009 sí se tomaron datos de diámetro en las parcelas tratadas mediante clareo débil, moderado y fuerte después de realizar el tratamiento. Los crecimientos corrientes anuales se han calculado con los datos de las variables después de aplicar el tratamiento en 2009 y los datos de 2020, con la excepción de la altura, que se ha calculado tanto con los datos después del tratamiento (ica Hm post) y los datos de antes del tratamiento (ica Hm pre), debido a que de las parcelas tratadas con el criterio calles y el criterio de la administración no se tienen datos del año 2009 después de realizar el tratamiento. Por ello, en las parcelas testigo, administración y calles no hay valores de crecimientos corrientes para algunas de las variables.

Se puede observar como el crecimiento medio anual en altura del año 2009 es similar en todos los tratamientos, por el mismo motivo que en las otras parcelas, se trata de una masa coetánea que no había recibido ningún tratamiento en ese momento.

Si comparamos el crecimiento medio en altura media (ima Hm) del año 2009 con el del año 2020, se puede ver como en todos los tratamientos el crecimiento medio del año 2020 es mayor que en el año 2009, pero en las parcelas testigo y en el tratamiento calles este aumento es mucho menor que en el resto de tratamientos, esto puede ser debido a que al haber una densidad tan elevada, la mayoría de los pies están moribundos y su crecimiento es muy limitado, si comparamos los crecimientos medios de la altura del árbol medio (ima Hg) del año 2020, se puede observar que el testigo y el tratamiento calles también tienen un menor crecimiento que el resto de tratamientos, pero en este caso la diferencia es menor.

En las anteriores parcelas se han comparado los valores de crecimientos corrientes anuales con los crecimientos medios anuales del año 2020 del testigo, para ver si la masa había alcanzado la edad de crecimiento medio máximo para todas las variables, en este caso solo podemos comparar la variable altura media, que es de la única que se tienen valores de crecimiento corriente para las parcelas testigo. Como el crecimiento corriente anual en altura media es mayor que el crecimiento medio anual del año 2020 en altura media, la masa todavía no ha alcanzado la edad de máximo crecimiento medio en altura; a pesar de no tener datos para el resto de variables, se podría decir que tampoco se ha llegado a la edad de máximo crecimiento medio para el resto de variables, ya que como se ha dicho, el *Pinus halepensis* culmina su crecimiento en altura antes que el resto de los crecimientos (González, 2005).

Tabla 16 Valores promedio, por tratamiento, de crecimientos medios anuales, crecimientos corrientes y volumen unitario del árbol medio en las parcelas de clareos

	C.M. ANUALES 2009	CRECIMIENTOS MEDIOS ANUALES 2020						CRECIMIENTOS CORRIENTES ANUALES						V. UNITARIO ARBOL MEDIO		
		ima Hm	ima Dg	ima Hg	ima Hm	ima Ho	ima AB	ima V	ica Dg	ica Hm post	ica Hm pre	ica Ho	ica AB	ica V	2009	2020
		cm/año	cm/año	cm/año	cm/año	cm/año	m2/ha-año	m3/ha-año	m/año	cm/año	cm/año	cm/año	m2/ha-año	m3/ha-año	dm3/pie	dm3/pie
CD	13.25	0.34	22.09	21.48	28.32	0.41	1.19	0.57	27.25	33.84	32.20	0.91	2.86	0.55	15.43	
CM	12.54	0.37	20.02	19.49	23.45	0.27	0.73	0.66	23.52	29.93	23.49	0.60	1.75	0.55	17.79	
CF	13.47	0.41	20.40	20.20	23.08	0.19	0.50	0.72	22.35	30.30	22.77	0.42	1.21	0.70	21.39	
TEST	13.73	0.13	17.95	15.58	21.73	1.74	5.46	-	18.36	18.36	21,83	-	-	-	2.08	
CALLE	12.89	0.12	16.41	13.14	24.62	1.56	4.90	-	13.51	13.51	38,56	-	-	-	2.07	
ADM	12.74	0.34	23.18	22.40	29.57	0.36	1.05	-	-	36.89	-	-	-	-	16.71	

Si comparamos el crecimiento corriente en diámetro del árbol medio, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas, se puede ver como el diámetro del árbol medio tiene un mayor crecimiento conforme se aumenta la intensidad del tratamiento, teniendo las parcelas tratadas con clareo fuerte un mayor crecimiento que las tratadas con un clareo moderado, y estas un mayor crecimiento que las tratadas con un clareo débil. Esto nos puede indicar que si lo que buscamos es maximizar el crecimiento en diámetro, en los tratamientos clareo débil y clareo moderado no se ha disminuido suficiente la competencia. En la tabla 7 y en la figura 11 se muestran estos crecimientos.

Tabla 17 Evolución del crecimiento en diámetro del árbol medio por tratamiento, en parcelas de clareos

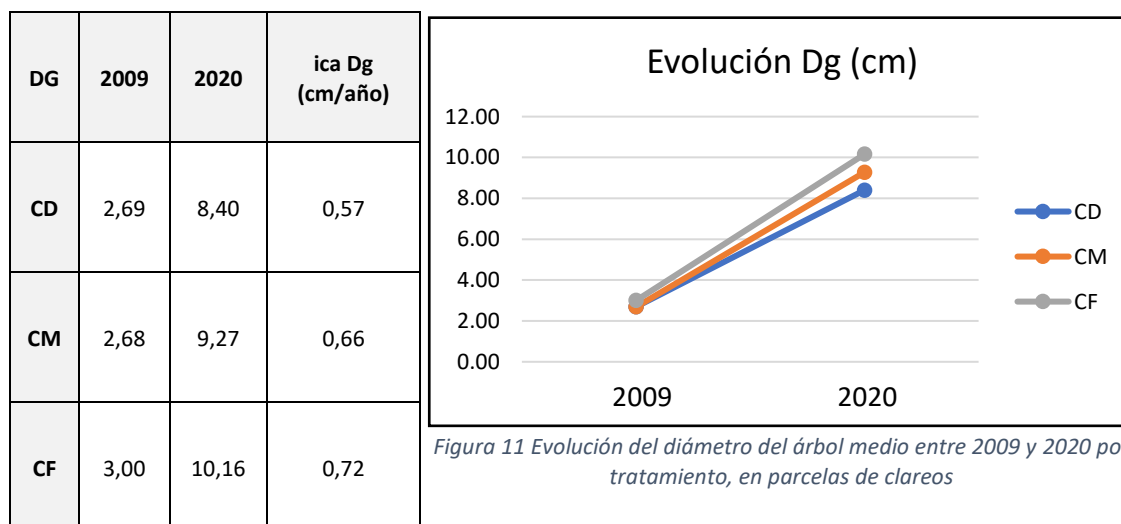


Figura 11 Evolución del diámetro del árbol medio entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos

En el caso del área basimétrica, el comportamiento es el opuesto, siendo mayor el crecimiento conforme menor es la intensidad del tratamiento, si comparamos el crecimiento dado en el tratamiento clareo débil, este llega a ser más del doble que el dado en el tratamiento clareo fuerte. Al comparar el crecimiento en el tratamiento clareo débil con los tratamientos clareo moderado y fuerte, se obtiene una diferencia estadísticamente significativa. En la tabla 18 y la figura 12 se muestra la evolución en área basimétrica por tratamiento.

Tabla 18 Evolución del crecimiento en área basimétrica por tratamiento, en parcelas de claros

AB	2009	2020	ica AB (m <sup>2</sup> /ha-año)
CD	1,28	10,34	0,91
CM	0,65	6,68	0,60
CF	0,51	4,67	0,42

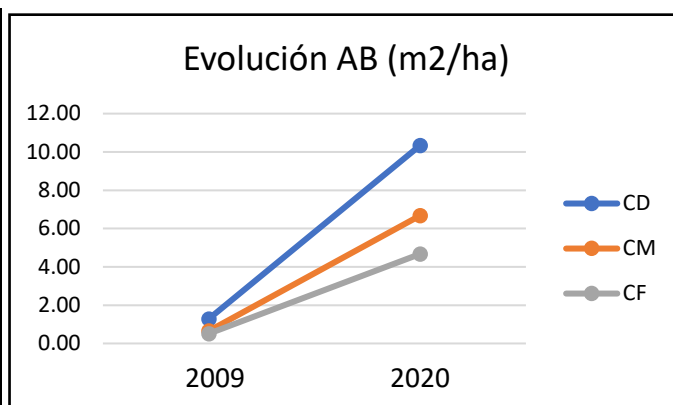


Figura 12 Evolución del área basimétrica entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de claros

En la tabla 19 y en la figura 13 podemos observar la evolución en existencias para los tratamientos claro débil, moderado y fuerte. El comportamiento es similar al obtenido con el área basimétrica, cuanto menor es la intensidad de tratamiento mayor es el crecimiento. La diferencia es estadísticamente significativa comparando el claro débil con los otros dos tratamientos.

Tabla 19 Evolución del crecimiento en existencias por tratamiento, en parcelas de claros

V	2009	2020	ica V (m <sup>3</sup> /ha-año)
CD	1,28	29,87	2,86
CM	0,65	18,17	1,75
CF	0,51	12,57	1,21

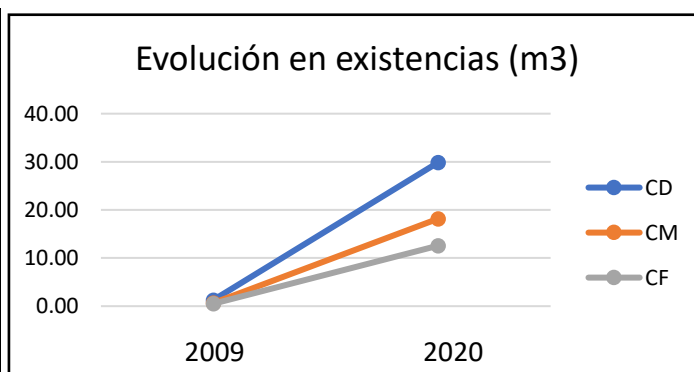


Figura 13 Evolución de las existencias entre 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de claros

Comparando la altura media después del tratamiento de 2009 con los datos del año 2020, el incremento de la altura media es similar en los tratamientos claro débil, moderado y fuerte, siendo menor en las parcelas testigo. La diferencia no es estadísticamente significativa. Se muestra en la tabla 20 y en la figura 14.

Tabla 20 Evolución del crecimiento en altura media, tomando en 2009 la altura postratamiento por tratamiento, en parcelas de clareos

Hm	2009	2020	ica Hm (cm/año)
CD	2,65	5,37	27.25
CM	2,52	4,87	23.52
CF	2,82	5,05	22.35
TEST	2,06	3,90	16.31

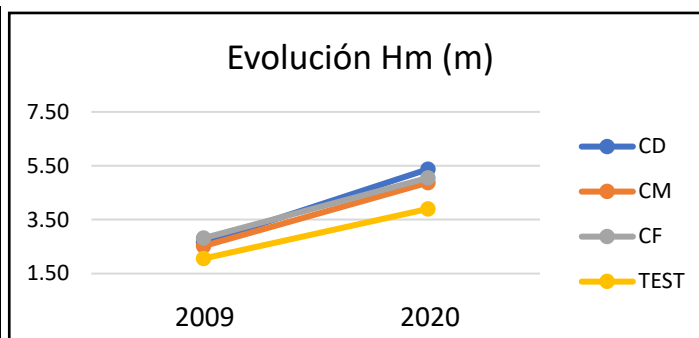


Figura 14 Evolución de la altura entre el postratamiento en 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos

Como no se disponía de datos postratamiento para las parcelas tratadas mediante calles y mediante el criterio de la administración para el año 2009, también se ha comparado la altura media antes pretratamiento de 2009 con la altura media del año 2020, los resultados son similares a los anteriores, teniendo todas las parcelas un crecimiento similar excepto las parcelas testigo y el tratamiento de calles, donde el crecimiento es menor. Las diferencias no son estadísticamente significativas. Se muestra en la figura 15 y la tabla 21

Tabla 21 Evolución del crecimiento en altura media, tomando en 2009 la altura pretratamiento por tratamiento, en parcelas de clareos

Hm	2009	2020	ica Hm pre2009 (cm/año)
CD	1,99	5,37	33.84
CM	1,88	4,87	29.93
CF	2,02	5,05	30.30
TEST	2,26	3,90	16.31
CALLES	1,93	3,27	13.32
ADM	1,91	5,60	36.89

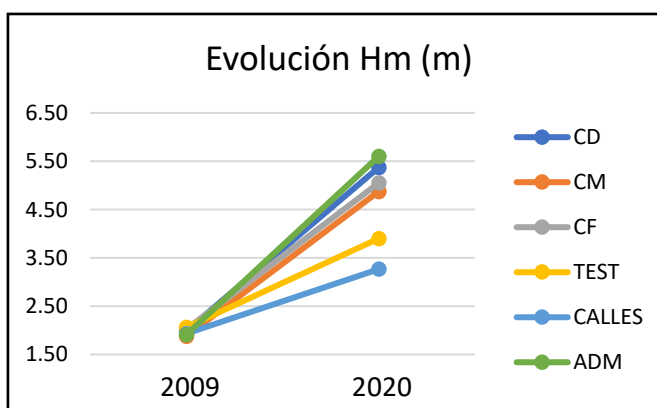


Figura 15 Evolución de la altura entre el pretratamiento en 2009 y 2020 por tratamiento, en parcelas de clareos

#### 4.2.2 Efectos de los tratamientos sobre la mortandad

En la tabla 22 se muestra la evolución de la densidad de las parcelas desde el inicio del estudio en el año 2009 hasta la actualidad. Analizando los datos de mortandad entre el año 2009 después del tratamiento y la actualidad, a pesar de no haber diferencias estadísticamente significativas, se puede observar cómo los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte tienen una mortandad similar en cuanto a porcentaje de pies muertos, exceptuando la parcela número 6 a la que se aplicó un tratamiento clareo moderado, en esta parcela no se encontraron los hitos que marcaban los vértices de la parcela, por lo que hubo que volver a replantearla, esto pudo

llevar a que la parcela se desplazara respecto a la original, esto podría explicar su dato anómalo en cuanto a mortandad.

La mortandad en las parcelas testigo es superior al resto de parcelas, algo lógico ya que con la elevada densidad de estas parcelas la competencia impide prosperar a una gran parte de los pies.

Se han incluido en la tabla los valores de masa eliminada y pies muertos en la parcela administración, sin embargo, en esta no se realizó una medición postratamiento, por lo que el 85% de pies eliminados en 2009 es una aproximación hecha por la administración, lo que lleva a un posible error en el valor pies muertos entre 2009 y 2020, lo que explicaría su valor anómalo.

Tabla 22 Evolución de la densidad de las parcelas de clareos desde el inicio del estudio hasta la actualidad

	Masa pretratamiento 2009	Masa eliminada 2009		Masa remanente 2009	Pies muertos 2009- 2020		Masa 2020
	pies/ha	pies/ha	%	pies/ha	pies/ha	%	pies/ha
3	26833	265625	98.99	2708	540	19.94	2168
5	244167	242447	99.30	1720	308	17.91	1412
10	195000	192452	98.69	2548	320	12.56	2228
<b>CD</b>	<b>235833</b>	<b>233508</b>	<b>98.99</b>	<b>2325</b>	<b>389</b>	<b>16.80</b>	<b>1936</b>
4	300625	299649	99.68	976	192	19.67	784.00
6	253542	252481	99.58	1060	20	1.89	1040
9	146042	144529	98.96	1512	272	17.99	1240
<b>CM</b>	<b>233403</b>	<b>232220</b>	<b>99.41</b>	<b>1182</b>	<b>161</b>	<b>13.18</b>	<b>1021</b>
1	135000	134200	99.41	800	100	12.50	700
7	228542	227758	99.66	784	192	24.49	592
8	225833	225237	99.74	596	124	20.81	472
<b>CF</b>	<b>196458</b>	<b>195732</b>	<b>99.60</b>	<b>727</b>	<b>139</b>	<b>19.27</b>	<b>588</b>
2	228125	0	0	228125	104791	45.94	123333
13	50435	0	0	50434	7379	14.63	43055
14	63000	0	0	63000	32723	51.94	30277
<b>TEST</b>	<b>139280</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>139280</b>	<b>56085</b>	<b>37.50</b>	<b>83194</b>
11	131667	65833	50.00	65833	6667	10.13	59167
<b>CALL ES</b>	<b>131667</b>	<b>65833</b>	<b>50.00</b>	<b>65833</b>	<b>6667</b>	<b>10.13</b>	<b>59167</b>
12	19792	16823	85	2969	1401	47.2	1568
<b>ADM</b>	<b>19792</b>	<b>16823</b>	<b>85</b>	<b>2969</b>	<b>1401</b>	<b>47.2</b>	<b>1568</b>

#### 4.2.3 Evolución de la ocupación de especies arbustivas y herbáceas

Realizando el análisis estadístico del porcentaje de superficie ocupado por especies arbustivas y herbáceas, este ha salido estadísticamente significativo en varias especies.

En cuanto a *Rhamnus alaternus*, la presencia es estadísticamente mayor en el tratamiento clareo débil respecto a los tratamientos clareo moderado y clareo fuerte, por lo que parece que la especie se ve favorecida por el tratamiento de menor intensidad; el testigo no tiene diferencia significativa con ningún tratamiento.

La presencia de *Rosmarinus officinalis* es mayor en las parcelas testigo que en el tratamiento clareo moderado, sin embargo, estas no tienen diferencias significativas con los clareos débil y fuerte.

En el caso del *Brachypodium sp.*, los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte tienen una mayor ocupación que las parcelas testigo, esto podría ser debido a que la alta densidad del testigo impide la entrada de luz, dificultando el crecimiento de esta especie.

En cuanto a la presencia de *Foeniculum vulgare*, existe una diferencia significativa entre el tratamiento clareo moderado respecto al resto clareo fuerte y el testigo, habiendo una mayor presencia en el tratamiento clareo moderado.

En el Anexo estadístico (Nº2), se muestran las tablas con los resultados del análisis estadístico.

#### 4.2.4 Comportamiento frente a incendios

Se ha realizado una búsqueda bibliográfica para obtener estudios que relacionen la densidad de una masa de *Pinus halepensis* con su comportamiento frente al fuego, pero no se ha encontrado ningún estudio que se adapte a la estructura forestal del presente trabajo.

En Alvarez et al. (2012) se establece el modelo de combustible de una masa de *Pinus halepensis* según su estructura, mostrando que mayor densidad de pies, más fuego de copa activo se produce, sin embargo, ninguna de las estructuras descritas se adapta a las del presente estudio.

En Domènech et al. (2013) se presentan modelos de combustible en regenerados clareados y no clareados de *Pinus halepensis* a los seis meses de realizar el tratamiento, obteniendo que en la masa no tratada hay una mayor carga de combustible de copas, una mayor densidad aparente del combustible y una menor distancia entre la altura de la base del árbol y la base de la copa; sin embargo los resultados no se pueden comparar con este trabajo ya que en nuestro estudio ha pasado más tiempo desde el tratamiento y la superficie ha sido ocupada por especies arbustivas.

Para analizar el comportamiento frente a incendios de los diferentes tratamientos, se ha obtenido la altura media del matorral en los diferentes tratamientos, y se ha obtenido que el matorral tiene una altura mayor en las parcelas testigo que en los tratamientos clareo moderado y fuerte, siendo estadísticamente significativa, sin embargo, la diferencia no es estadísticamente significativa respecto a la CD. En las tablas 23, 24 y 25 se muestra el análisis estadístico.

Tabla 23 Prueba de Kruskal-Wallis para altura media de matorral

Tratamiento	Tamaño muestra	Rango promedio
Adm	12	63.7083
CD	36	105.361
CF	36	86.0833
CM	36	76.6528
Calles	36	76.3857
Test	27	131.981
Estadístico= 27.9192 Valor-P= 0.0000377466		

Tabla 24 Prueba de múltiples rangos método Tukey HSD, grupos homogéneos para altura media de matorral

Tratamiento	Casos	Media	Grupos homogéneos
Adm	12	0.700208	X
Calles	36	0.705714	X
CM	36	0.733704	X
CF	36	0.768657	X
CD	36	0.841759	XX
Test	27	1.00438	X

Tabla 25 Prueba de múltiples rangos método Tukey HSD, diferencias significativas para altura media de matorral

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Adm - CD		-0.141551	0.219643
Adm - CF		-0.0684491	0.219643
Adm - CM		-0.0334954	0.219643
Adm - Calles		-0.00550595	0.220426
Adm - Test	*	-0.304174	0.228612
CD - CF		0.0731019	0.155311
CD - CM		0.108056	0.155311
CD - Calles		0.136045	0.156417
CD - Test		-0.162623	0.167755
CF - CM		0.0349537	0.155311
CF - Calles		0.0629431	0.156417
CF - Test	*	-0.235725	0.167755
CM - Calles		0.0279894	0.156417
CM - Test	*	-0.270679	0.167755
Calles - Test	*	-0.298668	0.168779

Si se analiza a que modelo de combustible se ajusta cada tratamiento, empleado los modelos de Rothermel (1972) & Albini (1976) y Scott & Burgan (2005) obtenemos los resultados mostrados en la tabla 26.

Tabla 26 Modelos de combustible para las distintas tipologías de claros

Tratamiento	Rothermel & Albini	Scott & Burgan
CD	7	TU-2
CM	7	TU-2
CF	7	TU-2
ADM	7	TU-2
CALLES	4	SH-9
TEST	4	SH-9



Según el modelo de Rothermel & Albini los tratamientos CD, CM, CF y ADM pertenecen al modelo 7, que en el plan local de prevención de incendios forestales del término municipal de Alcalà de xivert – Alcossebre se describe como:

- Matorral inflamable de 0.6 a 2 m de altura que propaga el fuego bajo el arbolado. El incendio se desarrolla con contenidos más altos en humedad del combustible muerto que en los otros modelos debido a la naturaleza más inflamable de los combustibles vivos. Tiene una carga de 10-15 t/ha. Peligrosidad baja o media.

Mientras que las parcelas testigo y el tratamiento de Calles se corresponden con un modelo de combustible 4, que se describe como:

- Matorral o arbolado muy denso de unos dos metros de altura. Continuidad horizontal y vertical del combustible. Abundancia de combustible leñoso muerto sobre plantas vivas. El fuego se propaga rápidamente sobre las copas del matorral con gran intensidad y llamas grandes. La humedad del combustible vivo tiene gran influencia en el comportamiento del fuego. Tiene una carga de 25-35 t/ha. Peligrosidad alta o muy alta.

Según el modelo de Scott & Burgan, los tratamientos CD, CM, CF y ADM se corresponden con un modelo TU-2, que según la clave para la identificación de los modelos de combustible de la Comunitat Valenciana de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica se define como:

- Matorral de menos de 1 m de altura, bajo dosel de arbolado adulto tanto de pináceas como de quercíneas.

Mientras que las parcelas testigo y el tratamiento Calles se corresponden con un modelo de combustible SH-9, que se define como:

- Regenerado de arbolado en estado de monte bravo o de bajo latizal con matorral. La altura es superior a 1,8 m e inferior a los 8 m. La vegetación presente en este modelo suele ser frecuentemente la combinación de matorral con densas y compactas regeneraciones de Pino carrasco (*Pinus halepensis*), provenientes de los grandes incendios de la década de los ochenta y noventa. También puede darse en regeneraciones tras la realización de cortas de cierta intensidad.

Existe una diferencia significativa entre las parcelas testigo y el tratamiento de calles respecto al resto de tratamientos, ya que en las primeras se acumula una mayor carga de combustible y tienen una mayor peligrosidad respecto a los incendios forestales. Con el tratamiento Calles se logra disminuir la altura del matorral respecto a las parcelas testigo, y se reduce la carga de combustible al eliminar la mitad de los pies, pero se mantiene en el mismo modelo.

El resto de los tratamientos pertenecen al mismo modelo y no existe una diferencia significativa en la altura del matorral, pero si se mira la altura media del matorral se observa que, a pesar de no ser significativa, la altura del matorral disminuye con la intensidad del tratamiento, siendo mayor la altura en el tratamiento CD que en el CM y CF, y en el CM que en el CF, esto podría suponer una ventaja de los tratamientos más intensos.

## 5 Discusión y conclusiones

### 5.1 Claras

Conclusiones para los resultados obtenidos en las parcelas de claras:

- Tras comparar los valores de crecimientos corrientes anuales con los valores de crecimientos medios anuales en el año 2020 de las parcelas de claras, se llega a la conclusión de que la masa ha alcanzado la edad de máximo crecimiento medio en diámetro y altura, pero no en área basimétrica y volumen.
- En las parcelas de claras, al comparar el crecimiento corriente en diámetro del árbol medio por tratamientos, se puede observar cómo los tratamientos clara débil, moderada y fuerte tienen un crecimiento similar, mientras que la parcela testigo tiene una menor evolución que el resto de los tratamientos, pero las diferencias no son estadísticamente significativas ni relevantes al haber únicamente una parcela testigo.
- En cuanto a la evolución en área basimétrica y volumen, la clara débil muestra un mayor crecimiento que las claras moderadas y fuerte, y no presenta una disminución de crecimiento respecto al testigo, algo que sí que ocurre con las claras moderadas y fuerte, sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas.
- Si se compara el crecimiento corriente en diámetro de los cincuenta pies más gruesos por parcela, aunque no hay diferencias significativas, las parcelas tratadas con clara débil muestran una tendencia a menor crecimiento que las tratadas con claras moderada y fuerte.
- Es necesario más tiempo y continuar con los tratamientos para extraer conclusiones en estas parcelas.
- Se han obtenido unos valores de crecimiento corriente en diámetro y área basimétrica mayores que los recogidos en las tablas de producción de Montero et al. (2002), mientras que el crecimiento medio acumulado a los 35 años, en el caso del diámetro, los resultados obtenidos son mayores que los mostrados en las tablas de producción, mientras que en el caso del área basimétrica los resultados son similares para la clara débil, y mayores en las tablas de producción que en las claras moderadas y fuertes.
- El crecimiento corriente y medio en volumen en las tablas de producción son similares al tratamiento clara débil y mayor que en los tratamientos clara moderada y clara fuerte, este resultado es contrario al obtenido por Samblás (2019) en las parcelas de Ayora, donde se obtuvo un mayor crecimiento medio acumulado y corriente en existencias que el mostrado por las tablas de producción. Esto puede ser debido a la diferencia de edad entre las parcelas de Ayora y las del presente estudio, y a que las densidades iniciales de las parcelas de este estudio eran bajas.
- Las parcelas fueron repobladas en baja densidad (800-100 árboles/ha) por lo que los tratamientos no difirieron mucho entre sí y se requiere de una observación más prolongada en el tiempo para poder constatar diferencias significativas entre ellos.

## 5.2 Clareos

Conclusiones para los resultados en las parcelas de clareos:

- Tras comparar los valores de crecimientos corrientes anuales con los valores de crecimientos medios anuales en 2020 en las parcelas de clareos, se llega a la conclusión de que la masa todavía no ha alcanzado la edad de máximo crecimiento medio en altura; y a pesar de no tener datos para el resto de variables, se podría decir que tampoco se ha llegado a la edad de máximo crecimiento medio en diámetro, área basimétrica y volumen, ya que el *Pinus halepensis* culmina su crecimiento en altura antes que el resto de los crecimientos (González, 2005).
- Al comparar el crecimiento corriente en diámetro del árbol medio por tratamiento, a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas, se puede constatar como el diámetro del árbol medio tiene un mayor crecimiento conforme se aumenta la intensidad del tratamiento, teniendo las parcelas tratadas con clareo fuerte un mayor crecimiento que las tratadas con un clareo moderado, y estas un mayor crecimiento que las tratadas con un clareo débil.
- En el caso del área basimétrica y el volumen, el comportamiento es el opuesto, siendo mayor el crecimiento conforme menor es la intensidad del tratamiento, si comparamos el crecimiento dado en el tratamiento clareo débil, este llega a ser más del doble que el dado en el tratamiento clareo fuerte. Se obtiene una diferencia estadísticamente significativa del clareo débil respecto a los clareos moderado y fuerte. Es decir, en términos de crecimiento corriente existe una diferencia significativa del 50%, 1.60 m<sup>3</sup>/ha/a y 0.49 m<sup>2</sup>/ha/a entre el tratamiento más intenso y el menos intenso.
- El tratamiento testigo presenta una mortandad considerablemente más elevada que los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte, sin embargo, la diferencia no es estadísticamente significativa.
- Respecto al comportamiento frente a incendios, la altura media del matorral es significativamente mayor en las parcelas testigo que en las tratadas con clareos moderado y fuerte; a pesar de no haber diferencias significativas entre el clareo débil y el clareo moderado y fuerte, la altura del matorral en el clareo débil ha sido algo mayor.
- Las parcelas testigo muestran un modelo de combustible con una mayor carga y peligrosidad que los tratamientos clareo débil, moderado y fuerte.

Las intensidades aplicadas en clareos fueron muy fuertes, por lo que es pronto para extraer conclusiones definitivas. En claras la densidad de partida era baja con lo que las diferencias entre los tratamientos no han tenido tiempo de mostrar diferencias significativas.

## 6 Bibliografía

- Ajuntament d'Alcalà de Xivert (2016). Plan local de prevención de incendios forestales. Término municipal de Alcalà de Xivert - Alcossebre.
- Albini, F.A. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 pp. Ogden, Utah.
- Alvarez, A., Gracia, M. & Retana, J. (2012). Fuel types and crown fire potential in *Pinus halepensis* forests. *Eur J Forest Res* 131, 463–474. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0520-6>
- Beltrán, M., Piqué, N. y Vericat, P. (2011). Models de gestió per als boscos de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.). Producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Catalunya: Centre de la Propietat Forestal-Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural
- Bengoa-Martínez, J. L. (1999). Estimación de la altura dominante de la masa a partir de la "altura dominante de parcela". Ventajas frente a la altura dominante de Assman. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales. Fuera de serie nº 1*
- Bravo, F. y Rodríguez-García, E. (2005). Protocolo para la obtención de datos. Regeneración natural y primer desarrollo de rodales forestales en el centro de España. Recuperado de: [http://wwwsp.inia.es/Investigacion/centros/CIFOR/redes/Selvired/Documents/PROTOCOLO\\_REGENERACION.UVA.pdf](http://wwwsp.inia.es/Investigacion/centros/CIFOR/redes/Selvired/Documents/PROTOCOLO_REGENERACION.UVA.pdf) [Consultado el 7 de octubre de 2019]
- Clutter, J. L., Forston, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., y Bailey, R. L. (1983). *Timber management: a quantitative approach*. Nueva York: John Wiley & Sons
- COPUT. (1991). Litología (COPUT-1991) [mapa en línea]. 1:50.000. Recuperado de: <https://visor.gva.es/visor/> [Consultado el 10 de septiembre de 2020]
- Del Peso Taranco, C., y Oviedo, F. B. (2004). Caracterización selvícola de las masas forestales de *Pinus pinaster* subsp. *mesogeensis* del Sistema Ibérico Meridional. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 18, 179-184
- Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Castedo, F., y Álvarez, J. G. (2005). Relación altura-diámetro generalizada para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales*, 14(2), 229-241
- Domènech-Jardí, R.; Pastor-Ferrer, E.; Agueda-Costafreda, A.; Sans, A.; Navascués, P. (2013). Planas-Cuchi, E. Modelos de combustible para caracterizar el comportamiento de los incendios en regenerados clareados de pino carrasco. *Montes*, 115, 22–29.
- Fady, B., H. Semerci y G.G. Vendramin. (2008). EUFORGEN Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino halepensis (*Pinus halepensis*) y el pino brutia (*Pinus brutia*). Traducción: A. Prada Foresta. Madrid. España. 6 páginas.
- Gil, L. & M. Aránzazu. (1993). Los pinos como especies básicas en la restauración forestal en el medio mediterráneo. *Ecología* 7: 113-125.
- González, G. M., Madrigal, G., Ruiz-Peinado, R., y Bachiller, A. B. (2004). Red de parcelas experimentales permanentes del CIFOR-INIA. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 18, 229-236

- González, J. M. (2005). Introducción a la selvicultura general. León: Universidad de León
- GVA (2013). PATFOR. Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunitat Valenciana
- GVA (2019) Clave para la identificación de los modelos de combustible de la Comunitat Valenciana
- IGME. (1972-2003). Mapa Geológico de España [Mapa en línea]. 1:50.000. Recuperado de: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?Id=767&language=es> [Consultado el 10 de septiembre de 2019]
- MAPAMA (1997-2007). Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) [base de datos]. Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3\\_bbdd\\_descargas.htm.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3_bbdd_descargas.htm.aspx) [Consultado el 2 de septiembre de 2020]
- Mapas temáticos sobre variables agroclimáticas. Dentro de SIGA: Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios [base de datos]. Recuperado de: <https://sig.mapama.gob.es/siga/> [Consultado el 10 de septiembre de 2019]
- Martín, S., González, J. R. y Coll, L. (2009). Evaluación y caracterización de los daños causados por la acción del viento y la nieve en los bosques de coníferas de montaña de Cataluña. En 5º Congreso Forestal Español. Ávila: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
- Montero, G., Grau, J.M., Ruiz-Peinado, R., Ortega, C., Cañellas, I., C. Madrigal, G., Ruíz-Peinado., Bachiller, A. (2000). Tablas de producción para *P. halepensis* Mill. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 10, 183-188.
- Montero, G., Cañellas, I. y Ruíz-Peinado, R. (2001). Growth and Yield Models for *Pinus halepensis* Mill. Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales, 10(1), 179-201
- Palacio, A. M. (2017). Evaluación de la regeneración en una masa de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) sometida a distintos tratamientos selvícolas en el monte de Tuéjar (Valencia) (Trabajo de fin de grado. Universitat Politècnica de València, Gandia). Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/85713> [Consultado el 20 de mayo de 2019]
- Póveda, J. A. (2010). Establecimiento de una red de parcelas permanentes de masas coetáneas de *Pinus halepensis* Mill. en la Comunitat Valenciana. (Trabajo de fin de carrera no publicado). Universitat Politècnica de València. Valencia
- Prada, A. (2008). Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino carrasco (*Pinus halepensis*) en España. Foresta. Madrid. España. 2 páginas.
- Quezel, P. (1986) Les pins du groupe «Halepensis» ecologie, végétation, ecophysiologie. Options Méditerranéennes. Serie Etude CIHEAM, 86/1, 11-23.
- Rivas-Martínez, S. y Rivas-Saenz, S., (1996-2019). Worldwide Bioclimatic Classification System. España: CIF. Recuperado de: <http://www.globalbioclimatics.org/> [Consultado el 15 de septiembre de 2020]
- Rothermel, R.C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Res. Pap. INT-115. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 pp. Ogden, Utah.
- Samblás, E. (2019). Seguimiento de una red de parcelas de experimentación en una masa coetánea de *Pinus halepensis mill.* en el mup v154 "la Hunde y la Palomera" en el t.m.

de Ayora (Valencia). (Trabajo final de grado). Universitat Politècnica de València. Valencia

Scott, J. H.; Burgan, R. E. (2005). Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. Ed. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 pp. Ford Collins, Colorado.

SIAR: Sistema de Información Agroclimática para el Regadío [base de datos]. Recuperado de: <http://eportal.mapama.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1> [Consultado el 4 de septiembre de 2019]