Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Master en Investigación en Ingeniería para la Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales

Respuesta de la regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* Mill. a los tratamientos selvícolas en el sureste de España

Alumna: Irene Ruano Benito

Tutor: Felipe Bravo Oviedo

Vº Bº

Septiembre de 2011

ÍNDICE

MEMORIA

Resumen..... 1
Agradecimientos..... 2
Introducción..... 3
Objetivos..... 5
Materiales y métodos..... 5
1. *Zona de estudio*..... 5
2. *Tratamiento selvícola*..... 6
3. *Muestreo y toma de datos*..... 7
4. *Análisis de los datos*..... 10
Resultados..... 13
1. .. *Tamaño*..... 13
2. *Potencial reproductivo*..... 18
3. *Biomasa*..... 24
4. *Crecimiento anual*..... 25
Discusión..... 26
Conclusiones..... 30
Bibliografía..... 31

ANEXOS

Anexo 1. Anexo fotográfico..... 34
Anexo 2. Análisis estadístico..... 41
Anexo 3. Tablas de resultados..... 44

Índice de figuras

Figura 1. Localización..... 6
Figura 2. Diseño de las parcelas de muestreo..... 9
Figura 3. Diagramas de cajas para el diámetro basal de todos los árboles..... 14
Figura 4. Gráfico de perfil para el diámetro basal de todos los árboles..... 14
Figura 5. Diagramas de cajas para la altura de todos los árboles..... 15
Figura 6. Diagrama de perfil para la altura de todos los árboles..... 15
Figura 7. Diagrama de cajas para el diámetro basal de los árboles apeados..... 16

Figura 8. Diagrama de perfil para el diámetro basal de los árboles apeados..... 17
Figura 9. Diagramas de cajas para la altura de los árboles apeados..... 17
Figura 10. Número absoluto de conos..... 18
Figura 11. Diagramas de cajas para el número de conos por parcela.....19
Figura 12. Diagramas de perfil para las interacciones dobles del número de conos.....21
Figura 13. Diagramas de perfil para la interacción triple en función de la exposición.....22
Figura 14. Diagrama de perfil para la interacción triple en función del tipo de cono.....23
Figura 15. Diagrama de perfil para la interacción triple en función del tiempo.....24
Figura 16. Diagramas de cajas para la biomasa.....24
Figura 17. Diagrama de cajas para el crecimiento anual..... 25
Figura 18. Diagrama de perfil para el crecimiento anual.....26

Índice de tablas

MEMORIA

Tabla 1. Características de las variables..... 10
Tabla 2. Datos climáticos del período considerado.....13
Tabla 3. Valores descriptivos de los análisis del tamaño.....13
Tabla 4.Número medio de conos por hectárea en función del tiempo.....18

ANEXOS

Tabla 1. Diámetro basal considerando todos los árboles..... 44
Tabla 2. Altura considerando todos los árboles..... 44
Tabla 3. Diámetro basal considerando los árboles apeados.....45
Tabla 4. Altura considerando los árboles apeados..... 45
Tabla 5. Potencial reproductivo en número de conos (I).....46
Tabla 6. Potencial reproductivo en número de conos (II).....46
Tabla 7. Potencial reproductivo en número de conos (III).....47
Tabla 8. Biomasa.....47
Tabla 9. Crecimiento anual.....48

RESUMEN

Uno de los mayores incendios ocurridos en España en 1994 destruyó más de 24000 hectáreas de pinares naturales de *Pinus halepensis* en Murcia. La densidad de la regeneración natural que sucedió al incendio fue excesiva por lo que, para acelerar el desarrollo de los pies, se llevó a cabo un programa de clareos durante varios años. El objetivo de este trabajo es analizar el efecto del clareo en el tamaño, el potencial reproductivo y el crecimiento anual del regenerado. Se establecieron 29 parcelas combinando dos niveles de exposición (solana y umbría) y el tiempo desde que se aplicó el tratamiento (5, 4, 3 y 2 años y sin tratar). En estas parcelas se midieron las variables dendrométricas de todos los pies y se contaron los conos clasificándolos en función de su maduración. También se seleccionaron 3 árboles por parcela, se apearon y se obtuvieron cinco discos que se analizaron en el laboratorio. Los anillos de crecimiento se escanearon, contaron y midieron para obtener el crecimiento anual mediante el software Windendro®. Los resultados muestran que el clareo acelera el crecimiento anual y mejora el potencial reproductivo aunque dicho efecto positivo no se observa claramente hasta después de 2 ó 3 años después del tratamiento. A su vez, dicho aumento en el crecimiento anual tiende a disminuir a los 5 años. Por último, las interacciones observadas con la exposición indican la influencia de las condiciones del micrositio.

ABSTRACT

One among many of the great fires occurred in 1994 in Spain burned more than 24000 hectares of natural stands of *Pinus halepensis* in Murcia. After fire, natural regeneration was successfully established in the area with excessive seedling density. To accelerate tree development a pre-commercial thinning program was carried out for several years. The objective of this work was to analyse the effect of pre-commercial thinning on tree size, reproductive potential and annual growth. 29 plots were established to cover the variability in exposition (north and south face) and time since pre-commercial thinning were applied (5, 4, 3 and 2 years since treatment and control).In these plots dendrometrics variables of all trees were measured and pine cones were counted and classified in three groups according to their ripening. At last 3 trees per plot were selected and thinned and five sample disks were extracted and labelled for laboratory procedures. Tree rings were scanned, counted and measured to obtain annual growth. Windendro® software was used to tree ring analyisis. The results show that pre-commercial thinnings accelerate tree size growth and enhance, reproductive potential. But this positive impact is not observed clearly until 2 or 3 years after treatment. Moreover the increase on annual growths due to thinning tends to decline 5 years after the application. At last, interactions between treatments and exposure indicate the influence of the conditions of the microsite.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero darle las gracias a mi tutor Felipe Bravo, porque ya hace tiempo me descubrió el mundo de la investigación y después de estos años de trabajo en su equipo veo que merece la pena luchar para seguir investigando. Tutorándome este trabajo me ha aportado mucho más que conocimientos científicos o técnicos y se lo agradezco enormemente.

También tengo que agradecer a todos los que hicieron posible este trabajo. Primero, gracias a Roque Palazón, de la Consejería de Agricultura y Agua del Gobierno Autonómico de la Región de Murcia, que nos propuso este trabajo mediante un contrato entre la Universidad de Valladolid, su Fundación General y el Grupo Generala S. L. – Ibarra Lorca S. L. Su interés por conocer el efecto de los tratamientos que llevan a cabo es una señal de la relación directa que existe entre la gestión y la investigación y que tantas veces se ignora. Y una vez propuesto el trabajo, no se podría haber hecho sin la ayuda de Pilar Durante ni Myriam Lasso de la Vega (Consejería de Agricultura y Agua del Gobierno Autonómico de la Región de Murcia) que ayudaron con la localización de las zonas de muestreo y el muestreo en sí, respectivamente. Por último también tengo que dar las gracias a mis compañeros Encarna Rodríguez-García y Jorge Olivar por su apoyo en el trabajo de campo, no sólo por ayudarme a muestrear bajo ese calor murciano, también por los baños en el río y las conversaciones compartidas, que es lo que hacen que el trabajo de campo se recuerde con alegría. Además los resultados no serían los mismos sin sus opiniones y consejos después de meses del muestreo. También tengo que agradecer a Valentín Pando su ayuda con el análisis estadístico y su interés por obtener unos buenos resultados, gracias a él he aprendido muchísimo de estadística.

No puedo olvidar que este trabajo también se ha podido desarrollar gracias al contrato cofinanciado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante el subprograma de Personal Técnico de Apoyo y el Fondo Social Europeo (PTA-2008-0974-P) que llevo disfrutando desde febrero del 2009.

Los datos climáticos fueron suministrados por la Consejería de Agricultura y Agua del Gobierno Autonómico de la Región de Murcia que a su vez se los suministraron la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Y por supuesto este trabajo no habría sido posible sin la ayuda y el apoyo de mis compañeros de departamento que durante dos años he tenido la suerte de conocer y que sin ellos no habría sido lo mismo. Sois muchos así que prefiero no enumeraros para no dejar a nadie olvidado, pero muchas gracias por crear ese ambiente de alegría y compañerismo que hace el trabajo mucho más llevadero.

Por último, pero no por ello menos importante, quiero dar las gracias a mi familia. Como siempre ocurre en estos casos, sin su apoyo es difícil afrontar tantos meses de trabajo sin desanimarse. Aunque no estamos pasando por nuestro mejor momento quizá esto nos haga estar más unidos y valorar lo realmente importante. Gracias a mis padres por luchar como auténticos héroes para que nosotros estemos donde estamos; a David por soñar la vida que queremos e intentar hacerla real; a mi hermano, mi ejemplo a seguir, porque sin sus consejos habría cometido muchos más errores; a María, no sólo por todas las dudas de estadística que tuviste que soportar, también por todo lo bueno que aportas a esta familia.

Gracias a todos por hacer más fácil este trabajo y hacer que lo recuerde con una sonrisa.

INTRODUCCIÓN

El fuego se considera una perturbación integrada en el ecosistema mediterráneo, donde muchas especies han evolucionado desarrollando estrategias para adaptarse a él. Pero aunque el fuego se presenta con alta frecuencia en la cuenca mediterránea y algunas especies se han adaptado a él, el cambio global de los últimos años está afectando directamente a la dinámica de los incendios forestales. Debido al aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones (IPCC, 2007), la humedad relativa será menor y por lo tanto el combustible forestal disponible estará más seco, aumentando el riesgo de incendio. Además se prevé un aumentó de la superficie quemada y de la intensidad de los incendios, así como la frecuencia de los mismos (Moriondo et al. 2006) lo que puede comprometer el futuro de las masas mediterráneas ya que un periodo de retorno del fuego inferior a la edad de maduración puede provocar la desaparición de la masa.

Una de las principales especies mediterráneas que está adaptada a los incendios es el *Pinus hapelensis* Mill., ya que sus piñas serotinas se abren después del incendio dispersando los piñones para la regeneración de la masa (Gil et al. 1996). Los factores principales que afectan a la regeneración post-fuego del género *Pinus* son el banco de semillas, el lecho de germinación y el régimen del fuego, pero se resalta la importancia de la abundancia de semilla y la serotinia como dos de los factores claves para obtener una regeneración adecuada (Vega Hidalgo, 2003). En el caso del *Pinus halepensis,* tras un incendio se encuentra habitualmente una buena regeneración debido posiblemente a su serotinia, su adaptación a condiciones xéricas y su temperamento robusto.

Esta especie tiene una enorme importancia ecológica y medioambiental en el entorno mediterráneo ya que es altamente resistente al estrés hídrico, restauradora de primera magnitud en zonas semiáridas y un colonizador insustituible en la dinámica evolutiva de la vegetación mediterránea (Orozco et al., 2007) por lo que es una de las especies más utilizadas para la restauración de zonas áridas y semi-áridas en España y toda la región mediterránea.

Pero las repoblaciones monoespecíficas de esta especie también pueden conllevar efectos negativos: la humedad del suelo disminuye en las grandes plantaciones si se compara con otras comunidades florísticas, la sucesión vegetal se ralentiza y al homogeneizar el paisaje y reducir la diversidad de hábitat se reduce la biodiversidad faunística, principalmente avícola (Maestre y Cortina, 2004). Según Chirino et al. (2006), las repoblaciones de pino carrasco en las zonas mediterráneas son comunes para establecer una cubierta arbórea y conservar el suelo en zonas degradadas ya que mejoran, al menos en las primeras etapas, la estructura

vertical del bosque pero reducen la riqueza y diversidad de especies en el sotobosque. Además las comunidades arbustivas y herbáceas presentes en estos ecosistemas podrían controlar la erosión del suelo con la misma efectividad que los árboles. En cambio Navarro et al. (2010a) analizaron el efecto del clareo con poda para realizar un cortafuegos en repoblaciones jóvenes (10 años) de pino carrasco después de un año del tratamiento y observaron un aumento de biomasa de sotobosque aunque en años de sequía hubo un descenso drástico de la biomasa del sotobosque. Esto indica que los tratamientos selvícolas pueden mejorar las condiciones de las repoblaciones monoespecíficas.

A pesar de la facilidad del pino carrasco para regenerar después de un incendio, en muchas ocasiones dicha regeneración natural puede resultar excesiva, por lo que se necesitarán operaciones selvícolas para disminuir la densidad (Vega Hidalgo, 2003). Los tratamientos más comunes son los clareos, así se reduce la densidad y se aprovechará la regeneración presente facilitando el establecimiento de la nueva masa mediante una selvicultura menos intensiva. Además estos tratamientos controlarán la continuidad de combustible y por lo tanto, disminuirá el riesgo de incendio (Orozco et al., 2007).

Sin embargo no se conocen exactamente los beneficios ni los riesgos de los clareos para reducir el regenerado excesivo después de un incendio. Hay estudios que han analizado el efecto de los clareos en la regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* en los que observaron efectos positivos de los tratamientos selvícolas en el potencial reproductivo y la diversidad de la vegetación y microfauna presente (González-Ochoa et al., 2004, de las Heras et al., 2007, Moya et al., 2009) pero otros en los que se ha observado un efecto negativo como el aumento de defoliación por *Pachyrhinus squamosus* unos años después del tratamiento (González-Ochoa y de las Heras 2002).

En el presente trabajo se pretende estudiar el efecto de los clareos semi-sistemáticos sobre el tamaño, el potencial reproductivo, la biomasa y el crecimiento de la regeneración post-fuego del pino carrasco en la región mediterránea. Para ello se ha analizado la regeneración post-fuego del incendio de 1994 ocurrido en la Región de Murcia. Este incendio arrasó 24817 ha de terreno forestal y se consideró una de las peores catástrofes ecológicas sufridas en esta región en el siglo XX (Cabezas y Masía, 2004). En este incendio las principales masas arboladas afectadas fueron pinares de masas naturales de *Pinus halepensis*, que proporcionaron una pujante pero excesiva regeneración natural, por lo que se han llevado a cabo desde 2004 una serie de clareos semi-sistemáticos para favorecer el desarrollo de la regeneración natural. Esto permite analizar la influencia de dicho tratamiento sobre la regeneración a corto plazo.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es comprobar el efecto de los clareos semi-sistemáticos en la regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* en la región mediterránea. Para ello se han planteado las siguientes hipótesis:

- El tratamiento selvícola no tiene un efecto significativo a corto plazo en el tamaño, el potencial reproductivo, la biomasa y el crecimiento anual de la regeneración post-fuego.
- La exposición de la masa forestal no tiene un efecto significativo en el tamaño, el potencial reproductivo, la biomasa y el crecimiento anual de la regeneración post-fuego.
- El efecto del clareo a corto plazo es independiente de la exposición donde crece el árbol

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra aproximadamente en las coordenadas 38º 14' N y 1º 56' O en masas afectadas por un incendio en julio de 1994 localizadas en la Sierra del Cerezo y alrededores, en el término municipal de Moratalla (Murcia) (Figura 1 y Anexo 1-Foto 1). Esta sierra se encuadra dentro del conjunto montañoso, eminentemente forestal, más extenso del centro y noroeste de la Región de Murcia, con perfiles de sierras alargadas en dirección SO-NE, y que constituyen las últimas grandes montañas béticas ubicadas en el extremo oriental (Carrión Vilches et al. 2003). Estas montañas están fundamentalmente constituidas por materiales calizos y dolomíticos (Alcaraz et al., 1991).

El clima de la zona del incendio se considera mediterráneo puro desde un punto de vista fitoclimático (Gil et al., 1996) con una temperatura media anual de la zona de 13-18 ºC (termotipo mediterráneo) y el régimen de precipitaciones determina un ombrotipo que varía desde seco (con una precipitación anual de 350-500 mm) a sub-húmedo (con 500-1000 mm), según la altitud y la vertiente (Carrión-Vilches, 2003). Estas montañas reciben, aunque con escasa cantidad, precipitaciones procedentes de temporales de poniente, muy frecuentes en invierno. De este modo, aunque los máximos de lluvia son primaverales, los de invierno son considerables (hasta el 26% del total). Destaca la relativa pluviosidad del verano, con

frecuentes tormentas y un total de precipitaciones que oscilan entre el 15 y el 18% (Carrión Vilches et al. 2003).

La vegetación acompañante de los pinares de carrasco es típicamente mediterránea. Abundan los matorrales de *Juniperus oxycedrus* L., *Daphne gnidium* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Thymus vulgaris* L., *Cistus clussi* Dunal así como especies arbóreas como *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. en zonas más xéricas y *Quercus faginea* Lam. en zonas con mayor disponibilidad hídrica.

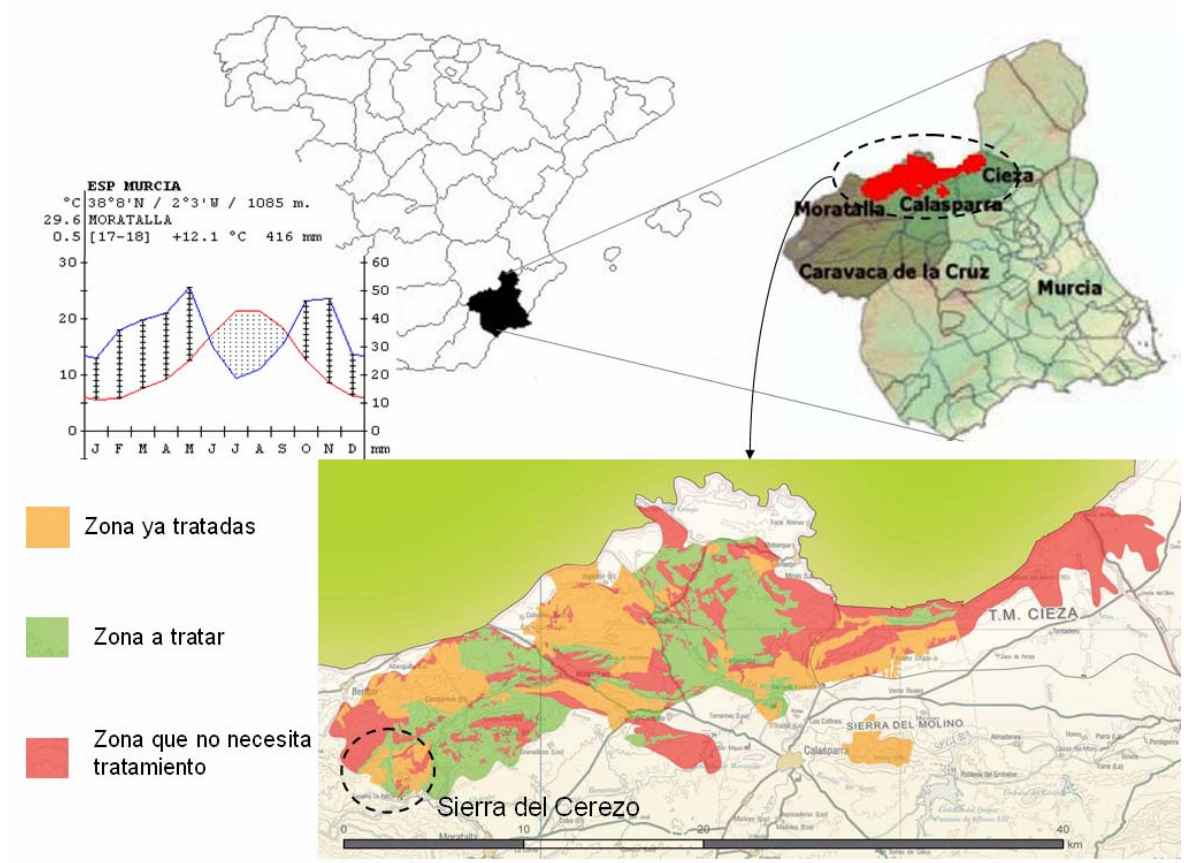

Figura 1. Localización de la Sierra del Cerezo en la zona afectada por el incendio en la provincia de Murcia. (Fuente del climodiagrama: www.globalbioclimatics.org)

2. Tratamiento selvícola

Después del incendio que arrasó más de 24000 hectáreas, las masas de pinares regeneraron gracias a sus conos serotinos, produciendo en muchas zonas una densidad de regeneración excesiva (en algunos lugares se encontraron más de 80000 plántulas por hectárea) para que la masa se desarrollara correctamente. Se decidió aplicar clareos semi-sistemáticos para reducir la densidad en aquellas zonas de pinar en estado de monte bravo surgido tras el incendio. El objetivo principal de dicho tratamiento fue mejorar las condiciones de la vegetación de interés,

favoreciendo la implantación de una cubierta arbórea madura de pinar, y procurando favorecer además en todo momento a las especies de matorral noble y de especies arbóreas autóctonas distintas al pino carrasco que pudiesen encontrarse.

Para llevar a cabo el clareo semi-sistemático, primero se realizó un tratamiento mecanizado, mediante un tractor forestal al que se le aplicó como apero una desbrozadora de martillos (Anexo 1 – Foto 2). Éste fue abriendo calles entre la vegetación, de 3 m de anchura máxima, y en la medida de lo posible siguiendo las curvas de nivel. Después una cuadrilla de operarios con motodesbrozadora se encargó de ir seleccionando los pies a conservar en cada una de las franjas de vegetación dejadas por la maquinaria (Anexo 1 – Foto 2). Se procuró que el espaciamiento final entre un pie y otro dentro de una misma fila, estuviera alrededor de los 2 m. Así se pretendió dejar una densidad final de 1600 pies/ha aproximadamente, intentando dejar una distribución a tresbolillo para reducir los posibles efectos de la erosión hídrica y lograr un aspecto más natural de la masa (Anexo 1 – Foto 3).

Una vez seleccionados los pies a dejar, se podaron las ramas bajas hasta liberar entre 1/2 y 2/3 de la parte inferior de la copa y por último se astillaron los residuos con el apero desbrozador del tractor.

Los clareos se empezaron en el 2004 y en el momento del muestreo (2009) había zonas tratadas en el 2004, 2005, 2006 y 2007. No se encontraron zonas tratadas en el 2008 en la zona de estudio.

3. Muestreo y toma de datos

Selección y forma de las parcelas

Para cumplir con los objetivos del trabajo se realizó un diseño factorial basado en dos factores: (1) tiempo desde la ejecución de las prácticas selvícolas (hace 2, 3, 4 y 5 años) y (2) la orientación de la masa (solana y umbría). Para contrastar los resultados se consideró como zona control las zonas no tratadas.

Corona et al. (1998) analizaron el tamaño y forma de las parcelas para estudiar la regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* en Italia y concluyeron que el diseño más efectivo era de 8 m x 2 m (16 m^2). En este trabajo se estudió sólo el número de regenerados por parcela en una masa después de 38 meses del incendio. Otros autores como de las Heras et al. (2002) estudiaron la regeneración post-fuego del pino carrasco y la competencia con especies arbustivas mediante parcelas rectangulares de 10 x 2 m.

El diseño circular de radio 10 metros fue utilizado por autores como Pausas et al. (2004) para estudiar la variabilidad de la regeneración post-fuego del pino carrasco y los factores que

influyen en ella, mediante el conteo de regenerados. También Zagas et al. (2004) analizaron mediante parcelas de 10 metros de radio el efecto de los clareos de la regeneración post-fuego de dicha especie en el banco de semillas aéreo. En el presente trabajo se decidió trabajar con parcelas circulares pero se modificó el tamaño a radio 5 metros ya que este tamaño de parcela permitía obtener suficientes árboles para el estudio dendroecológico.

Por lo tanto después de localizar sitios en los que se cumplía la combinación de los dos factores considerados, en cada uno de ellos se instalaron 3 parcelas de 5 metros de radio excepto en las zonas control que se realizaron 4 repeticiones. En total se instalaron 29 parcelas ya que no se encontró ninguna zona que hubiera sido tratada hace dos años (2007) en umbría.

Cada una de las parcelas se dividieron en tres sectores, orientando la primera línea divisoria al norte (Figura 2a y Anexo 1 – Foto 4).

Mediciones en las parcelas

La regeneración encontrada en las parcelas control en umbría tenían una densidad de regenerado mucho mayor respecto a solana (Anexo 1 – Foto 5), esto puede ocurrir ya que la regeneración post-fuego del pino carrasco es significativamente mayor en exposiciones de umbría (Pausas et al., 2004). Ante esa alta densidad en las zonas control en umbría se decidió variar el método de muestreo en dichas parcelas. En el resto de parcelas se midió la altura, el diámetro normal (a 1,3 metros de altura) y el diámetro basal (en la base del árbol) de todos los pies de pino carrasco que se localizaban dentro de la parcela, sin considerar tamaños mínimos (Anexo 1 – Foto 6). También se contabilizaron en todos los pies los conos, considerando tres grupos (Anexo 1 – Foto 7): nuevos (pirindolas y piñas verdes pequeñas no más viejas de dos años), maduros (marrones entre 2-3 años) y serotinos (grises y cerrados y de más de 3 años). Desde el centro de la parcela, y con ayuda de las líneas divisorias de los sectores, se eligieron tres árboles para el análisis de crecimiento anual.

En las parcelas de umbría sin tratar se decidió variar el diseño de muestreo debido a la alta densidad encontrada (Anexo 1 – Foto 8). Se estimó el número medio de regenerados por metro cuadrado mediante 3 subparcelas de 1 m de lado (Figura 2b), localizadas a 2 m del centro de la parcela, siguiendo la línea divisoria de los sectores. En estas subparcelas se contabilizaron los regenerados y los conos y se midió la altura de tres regenerados representativos de la subparcela, así como sus diámetros normales (a 1,3 metros) y basales.

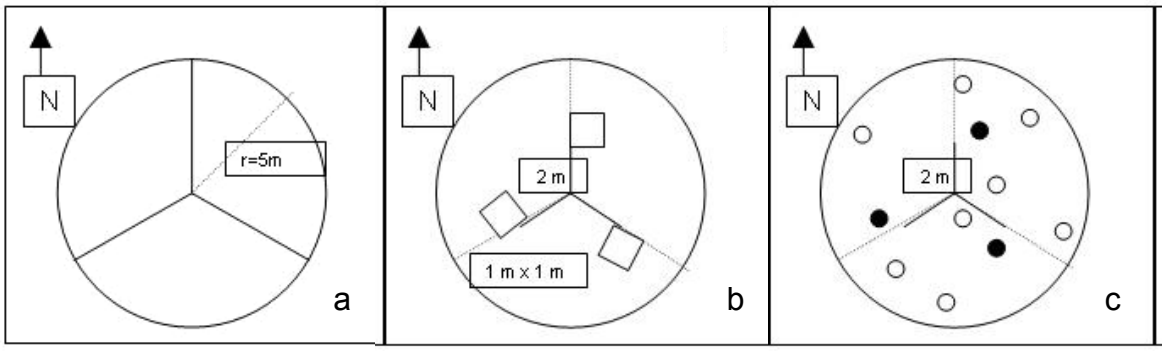

Figura 2. Diseño de las parcelas de muestreo

Análisis dendroecológico

Siguiendo las líneas divisorias de los tres sectores de las parcelas, se eligieron los árboles más cercanos al punto situado a 2 metros del centro (Figura 2c). Se apearon y se extrajeron 5 rodajas, las primeras en la base y el resto repartidas uniformemente a lo largo del fuste (base y 20, 40, 60 y 80% de la altura total del árbol) (Anexo 1 – Fotos 9 y 10) siguiendo el criterio de selección mediante la altura relativa. Se lijaron las rodajas para pulir la superficie y facilitar así la localización de los anillos. Una vez lijadas se escanearon para analizar el crecimiento con el programa Windendro®, con el que se obtuvo el incremento anual de los árboles (Anexo 1 – Fotos 11 a 14).

El crecimiento anual se obtuvo a partir de las rodajas basales y el resto de rodajas permitieron calcular la biomasa del árbol. Se consideró cada parte del árbol como un cono truncado y en el extremo un cono. Se calculó el volumen de cada parte y la suma total se consideró el volumen del árbol. Para el cálculo de la densidad básica se empleó la fórmula desarrollada por Kollmann (1959):

$$D_b = \frac{1}{1{,}12 / D_{12} + 0{,}1892}$$

siendo: D_b ≡ densidad básica

D_{12} ≡ densidad normal o densidad al 12% de humedad

La densidad normal de la madera del *Pinus halepensis* es 0,610 (Centre de la Propietat Forestal 2004), por lo que se obtuvo una densidad básica de 0,494. Al multiplicar el volumen obtenido del árbol por la densidad básica se obtiene la biomasa de cada pie.

Las variables obtenidas se pueden clasificar en 4 grupos: tamaño (diámetro y altura), potencial reproductivo (número de conos nuevos, maduros y serotinos) biomasa y crecimiento anual. Para la biomasa y el crecimiento anual se consideraron los pies apeados, para el potencial

reproductivo se consideraron todos los árboles de la parcela y para el tamaño se consideraron las dos opciones (Tabla 1). Los diámetros normales no se analizaron ya que la mayoría de los árboles muestreados no alcanzaban la altura suficiente para medirlo.

			n	Media	Máx.	Mín.	Desv. estándar
Árboles de la parcela	Tamaño	D. basal (cm)	266	5,230	16,400	0,350	3,059
		H (m)	265	1,949	5,500	0,300	0,910
	Potencial reproductivo	C. nuevos	266	4,271	52,000	0,000	7,043
		C. maduros	266	3,154	31,000	0,000	5,407
		C. serotinos	266	0,677	21,000	0,000	1,975
Árboles apeados	Tamaño	D. basal (cm)	79	5,168	12,550	0,500	2,632
		H (m)	79	1,951	5,500	0,660	0,847
	Biomasa (m^3)		79	0,097	0,904	0,002	0,128
	Crecimiento anual (mm)	Tratado hace 1 año	165	2,089	8,915	0,241	1,749
		Tratado hace 2 años	63	2,943	7,202	0,293	1,693
		Tratado hace 3 años	54	4,155	19,996	0,579	3,104
		Tratado hace 4 años	36	4,056	8,172	1,146	1,766
		Tratado hace 5 años	18	2,804	4,597	0,958	0,946
		Sin tratar	80	1,270	5,548	0,176	1,096

Tabla 1 Características de las variables: tamaño de la muestra, media, máximo, mínimo y desviación estándar. D. basal = diámetro basal; H = altura (el tamaño de la muestra para la altura es menor que el resto de variables de tamaño y potencial reproductivo por un fallo en la toma de medidas). Crecimientos anuales medios calculados desde 2004 al 2008, en función de la fecha de tratamiento.

4. Análisis de los datos

Tamaño

El efecto del tratamiento selvícola a corto plazo, la exposición y su interacción sobre el tamaño se analizó de dos maneras. Por una parte se realizó un análisis de todos los árboles muestreados en la parcela mediante una ANOVA y por otra sólo se consideraron los árboles apeados, lo que permite considerar el crecimiento previo de los árboles como una covariable. En todos los casos las variables diámetro basal y altura, para cumplir la normalidad, se transformaron mediante la raíz cuadrada. Dicha normalidad se comprobó gráficamente mediante sus histogramas y los p-p plots.

La influencia del tratamiento en los primeros años y la exposición considerando el tamaño de todos los árboles de la parcela se analizó mediante análisis de la varianza (ANOVA) considerando dos factores, el tiempo desde el tratamiento (tratadas hace 2, 3, 4, 5 años y sin tratar) y la exposición (solana y umbría):

$$y_{ijk} = \mu+\beta_l+\beta_i x_i+\beta_j x_j+\beta_k x_k+\varepsilon_{ijk}$$

siendo: y_{ijk}: variable a analizar para el pino k de tratamiento (i,j)

μ: efecto de media general

β_l: parámetros asociados a los efectos y sus interacciones (l=0,1,2,3)

x_i: efecto del tiempo desde el tratamiento (i= sin tratamiento, 2, 3, 4, 5 años)

x_j: efecto de la exposición (j=solana, umbría)

x_k: efecto de la interacción entre el tiempo desde el tratamiento i y la exposición j

ε_{ijk}: error aleatorio para el árbol k del tratamiento (i,j)

La influencia del tratamiento en los primeros años y la exposición considerando el tamaño de los árboles apeados se analizaron mediante un análisis de la covarianza (ANCOVA) considerando los mismos factores pero incluyendo tres covariables, la pendiente, la altitud y el crecimiento previo. En los análisis sólo resultó significativo el crecimiento previo por lo que se consideró dicha variable como una covariable, ya que el tamaño de los árboles podría ser diferente entre ellos antes del tratamiento. Madrigal et al. (2004) trabajaron con regeneración post-fuego de *Pinus pinaster* y también consideraron el tamaño del árbol antes del tratamiento selvícola como covariable.

Se realizaron dos análisis para las mismas variables para después compararlos. Por una parte la ANOVA tiene un tamaño de muestra mayor, al considerar todos los pies de la parcela pero la ANCOVA permite eliminar de la variable dependiente el efecto atribuible a variables no incluidas en el diseño como factores. El fundamento de la ANCOVA es un ANOVA al que a la variable dependiente se le ha eliminado el efecto predicho por una o más covariables por regresión lineal múltiple, en este caso el crecimiento previo de los árboles (Muller y Fetterman, 2002).

Potencial reproductivo

El potencial reproductivo se analizó mediante un modelo lineal mixto ya que ninguna transformación de las variables permitió un análisis mediante modelos lineales generales. En este caso para cumplir la normalidad se necesitó la transformación mediante el logaritmo de la variable dependiente más uno. Dicha normalidad se comprobó gráficamente mediante su histograma y el p-p plot.

La formulación del modelo es la siguiente:

$$y_{ijkl}=\mu+\alpha_i+\beta_j+\gamma_k+\alpha\beta_{ij}+\alpha\gamma_{ik}+\beta\gamma_{jk}+\alpha\beta\gamma_{ijk}+\varepsilon_{ijkl}$$

siendo: y_{ijkl}≡ variable a analizar para la parcela l del tiempo desde el tratamiento i, la exposición j y el tipo de cono k (l=1,2,…29)

μ ≡ efecto de la media general

α_i ≡ efecto del tiempo desde el tratamiento i (i= sin tratamiento, 2, 3, 4, 5 años)

β_j ≡ efecto de la exposición j (j=solana , umbría)

γ_k ≡ efecto del tipo de cono k (k=nuevo, maduro, serotino)

$\alpha\beta_{ij}$ ≡ efecto de la interacción del tiempo desde el tratamiento i y la exposición j

$\alpha\gamma_{ik}$ ≡ efecto de la interacción del tiempo desde el tratamiento i y el tipo de cono k

$\beta\gamma_{jk}$ ≡ efecto de la interacción de la exposición j y el tipo de cono k

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$ ≡ efecto de la interacción de tiempo desde el tratamiento i, exposición j y tipo de cono k

ε_{ijkl}≡ error aleatorio para la parcela l del tiempo desde el tratamiento i, la exposición j y el tipo de cono k con distribución Normal (0, σ^2_j) e independientes.

Biomasa

La influencia del tratamiento en los primeros años, la exposición y su interacción en la biomasa se analizaron mediante una ANCOVA considerando los dos factores de tiempo desde el tratamiento y exposición y con una covariable. Inicialmente se consideraron tres covariables, la pendiente, la altitud y el crecimiento previo de los árboles, ya que el tamaño de los árboles podría ser diferente entre ellos antes del tratamiento pero sólo resultó significativo el crecimiento previo. La variable dependiente se transformó mediante la raíz cuadrada para cumplir la normalidad. Dicha normalidad se comprobó gráficamente mediante su histograma y el p-p plot.

Crecimiento radial

Por último, la influencia del tratamiento a corto plazo, la exposición y su interacción en el crecimiento anual se analizó mediante una ANCOVA considerando dos covariables. La variable dependiente se transformó mediante la raíz cuadrada para cumplir la normalidad. Dicha normalidad se comprobó gráficamente mediante sus histogramas y el p-p plots.

En este caso el factor exposición también tuvo dos niveles (solana y umbría) pero el factor año desde el tratamiento tuvo 6 (tratadas hace 1, 2, 3, 4, 5 años y sin tratar). En este caso el análisis dendroecológico permite conocer el crecimiento anual radial y hace posible estudiar el efecto un año después del tratamiento a pesar de no haber parcelas tratadas hace un año. Como covariables se consideraron también la pendiente, la altitud, el crecimiento previo y en este caso también la precipitación total anual, siendo significativas el crecimiento previo y la precipitación total anual. Esta última covariable fue considerada ya que las parcelas fueron tratadas a lo largo de los años 2004-2007 y existe una variabilidad climática en dicho período (Tabla 2). Según Olivar (2009) la precipitación es la variable climática clave para el *Pinus halepensis*, concretamente la precipitación de primavera y de invierno. En este caso estas precipitaciones no fueron significativas como covariables pero la precipitación anual sí lo fue. Por lo tanto se consideró como covariable la precipitación anual del año agrícola (del 1 de octubre al 30 de septiembre).

	2004	2005	2006	2007	2008
Temperatura media anual (ºC)	14,3	14,5	14,4	14,6	14,0
Precipitación total anual (mm)	775,3	359,0	410,0	643,4	483,9
Precipitación total primavera (mm)	358,0	63,5	160,5	257,9	167,0
Precipitación total invierno (mm)	112,5	212,0	112,0	122,5	102,5

Tabla 2 Datos climáticos del período considerado: temperatura media anual (ºC) del 1 de octubre al 30 de septiembre; Precipitación total anual (mm) del 1 de octubre al 30 de septiembre; Precipitación total de primavera (mm) marzo, abril y mayo; Precipitación total de invierno (mm). Diciembre del año anterior, enero y febrero. Para calcular la temperatura media anual del año 2008 se estimaron los datos mensuales faltantes a partir de una regresión lineal local desarrollada a partir de toda la serie de datos disponibles

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.2 (SAS Institute Inc., USA) y los gráficos con el paquete estadístico InfoStat 2011 (Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS

1. Tamaño

Se consideró el diámetro basal (diámetro medido en la base del árbol) y la altura como las variables representativas del tamaño del árbol. El diámetro normal no se consideró ya que el tamaño de la mayoría de los árboles no fue suficiente para llegar a la altura de 1,3 metros necesaria para su medición.

Estas variables se analizaron mediante dos métodos estadísticos, primero se analizaron todos los árboles muestreados en la parcela mediante una ANOVA y segundo se analizaron sólo los árboles apeados mediante una ANCOVA, considerando el crecimiento previo como una covariable. El análisis del tamaño mejora sustancialmente (Tabla 3) al incorporar una covariable y las conclusiones son más determinantes.

Variable	Análisis	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Media
Diámetro basal	ANOVA	0,375673	25,24871	0,550872	2,181784
	ANCOVA	0,813925	13,03883	0,285244	2,187649
Altura	ANOVA	0,232687	20,45439	0,278352	1,360841
	ANCOVA	0,625387	13,64585	0,18659	1,367374

Tabla 3. Valores descriptivos de los análisis llevados a cabo para las variables de tamaño

Se detectaron efectos significativos del tiempo desde el tratamiento, de la exposición y de su interacción sobre el diámetro basal de los árboles de toda la parcela al 95 % de significación. Por un lado, el diámetro basal es significativamente mayor en las parcelas que se trataron hace 5 años, con un diámetro medio de 2,57 cm, en cambio no se puede decir claramente las diferencias entre el resto de parcelas. Por otro lado, el diámetro basal es significativamente

mayor en las parcelas en solana que de umbría (2,346 cm frente a 1,996 cm) (Figura 3 y Anexo 3 – Tabla 1).

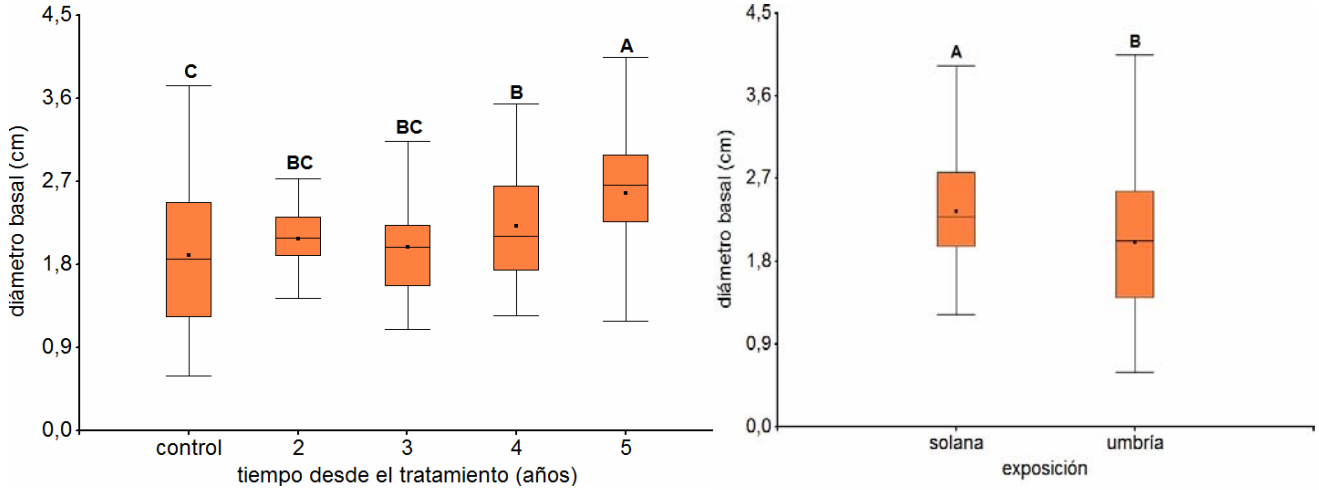

Figura 3. Diagramas de cajas para el diámetro basal de todos los árboles de la parcela en función de los dos factores significativos: tiempo desde el tratamiento (izquierda) y exposición (derecha). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

Respecto a las interacciones, se obtiene el diámetro menor en las parcelas control de umbría con 1,306 cm de media. En general se obtienen mayores diámetros en las parcelas de solana excepto a los 4 años del tratamiento, donde es mayor en umbría (Figura 4 y Anexo 3 – Tabla 1).

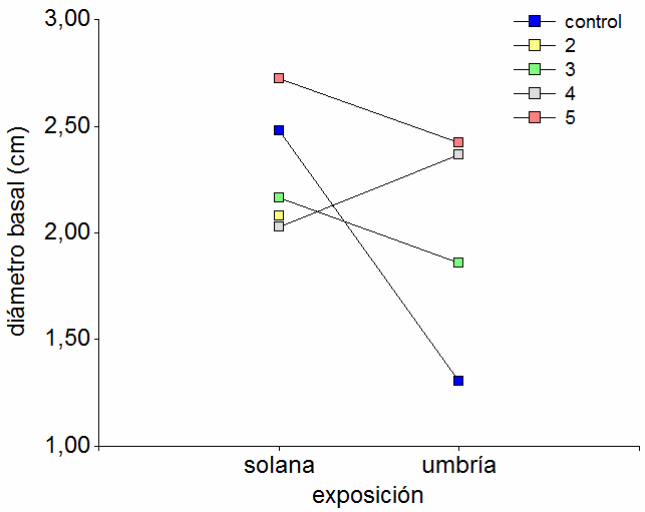

Figura 4. Gráfico de perfil para el diámetro basal de todos los árboles de la parcela

Para la variable altura de todos los árboles de la parcela también se observaron efectos significativos del tiempo desde el tratamiento, de la exposición y de su interacción con un nivel de significancia del 0,05. La mayor altura se observó en las parcelas tratadas hace 5 años, con 1,54 m de media, en cambio no se pueden afirmar claramente las diferencias entre el resto de

opciones (Figura 5 y Anexo 3 – Tabla 2). Por último, la altura es significativamente mayor en umbría que en solana (1,411 m frente a 1,318 m) (Figura 5 y Anexo 3 – Tabla 2).

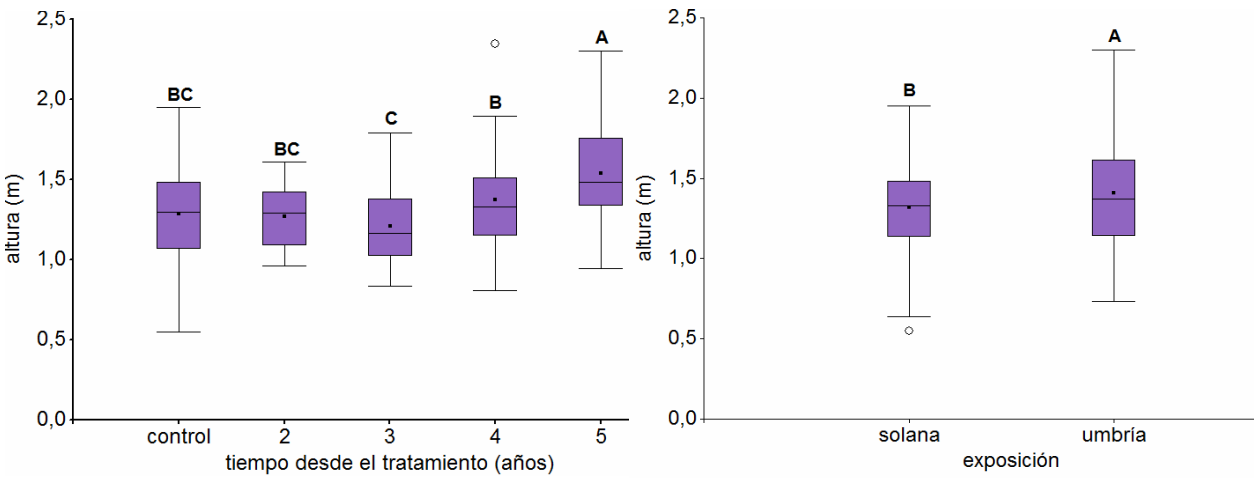

Figura 5 Diagramas de cajas para la altura de todos los árboles de la parcela en función de los dos factores significativos: tiempo desde el tratamiento (izquierda) y exposición (derecha). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

La interacción entre el tiempo desde el tratamiento y la exposición nos muestra la altura mayor a los 5 años en zona de umbría, con 1,668 m de altura media. En general las alturas son mayores en umbría que en solana a los 4 y 5 años de tratamiento. En cambio en las zonas sin tratar la altura es significativamente mayor en solana que en umbría. Por último, a los tres años no se observan diferencias significativas entre exposiciones (Figura 6 y Anexo 3 – Tabla 2).

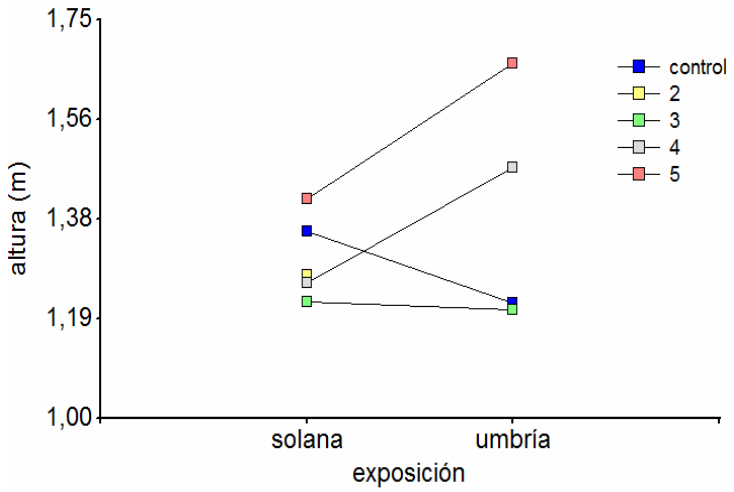

Figura 6. Diagrama de perfil para la altura de todos los árboles de la parcela

Este análisis nos permite conocer la influencia del tiempo desde el tratamiento y la exposición sobre el tamaño, mediante un muestreo simple. Los resultados nos indican mejores resultados pasados 5 años pero no podemos afirmar diferencias claras entre el resto de opciones. Si sólo

se consideran los árboles apeados la muestra es menor pero se puede considerar en el análisis una nueva covariable, el crecimiento previo de los árboles.

En el análisis del diámetro basal de los pies apeados se observa que la exposición deja de ser significativa por sí misma y sólo es significativo el tiempo desde el tratamiento y la interacción tiempo-exposición. En el caso del tiempo desde el tratamiento, se observa que el diámetro significativamente menor se obtiene en las parcelas sin tratar (1,55 cm aproximadamente). Entre las parcelas tratadas, los diámetros basales más altos se obtienen en las parcelas que llevan más tiempo tratadas (5 y 4 años), con 2,52 y 2,38 cm, aproximadamente, aunque no hay diferencias significativas con las parcelas que lleva 2 años tratada (2,52 cm) (Figura 7 y Anexo 3 – Tabla 3).

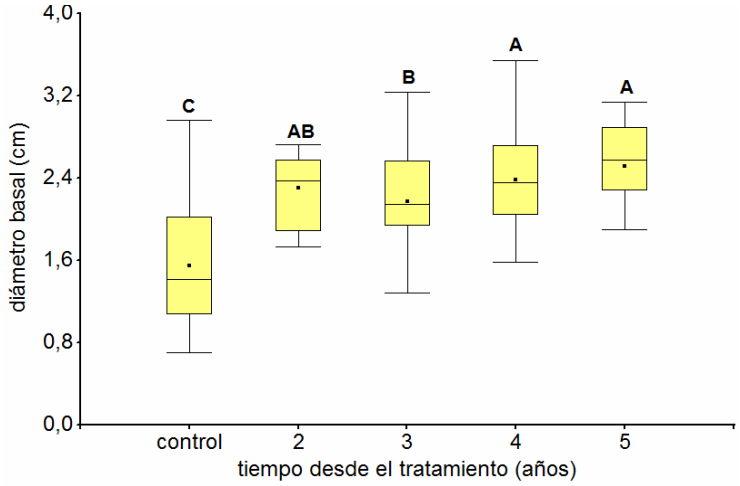

Figura 7. Diagrama de cajas para el diámetro basal de los árboles apeados en función del factor significativo, tiempo desde el tratamiento. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

La interacción del tiempo desde el tratamiento con la exposición muestra que el diámetro es mayor en solana que en umbría en la zona control ya que el diámetro en la zona de umbría es significativamente inferior, con una media de 1,265 cm. En cambio a los 4 años del tratamiento el diámetro es mayor en umbría que en solana. Por último, a los 3 y 5 años del tratamiento no se observan diferencias entre exposiciones (Figura 8 y Anexo 3 – Tabla 3).

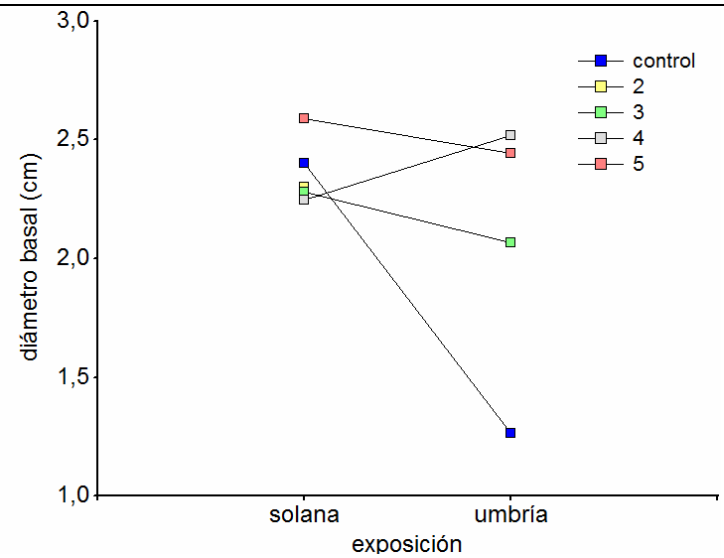

Figura 8. Diagrama de perfil para el diámetro de los árboles apeados

Para la altura de los árboles apeados se encontraron significativos los dos factores, el tiempo desde el tratamiento y la exposición, no siendo significativa su interacción. La altura fue mayor en las parcelas que llevaban más tiempo tratadas (4 y 5 años), con 1,37 y 1,54 m, respectivamente. Fue menor en las parcelas no tratadas y tratadas hace 2 y 3 años, sin encontrar diferencias significativas entre ellas. Respecto a la exposición, la altura es significativamente mayor en las parcelas en umbría (1,411 m frente a 1,318 m) (Figura 9 y Anexo 3 – Tabla 4).

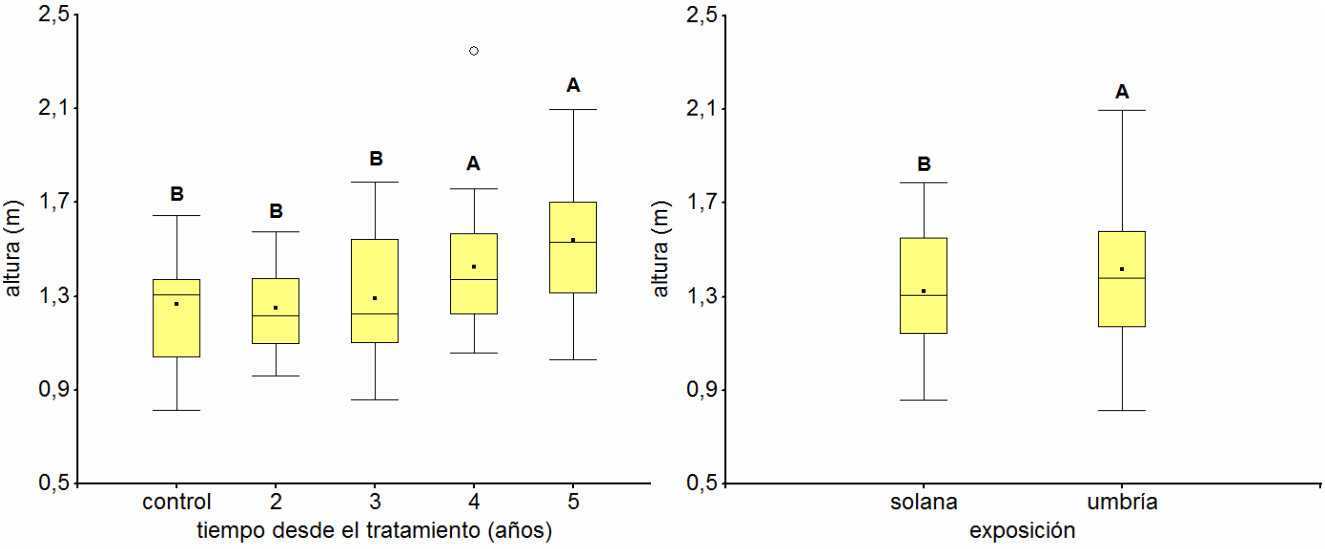

Figura 9. Diagramas de cajas para la altura de los árboles apeados en función de los factores significativos, tiempo desde el tratamiento (izquierda) y exposición (derecha). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

2. Potencial reproductivo

Para estas variables el análisis estadístico con un modelo lineal general no fue el esperado. De una manera descriptiva se observa el aumento de conos con el paso de los años después del tratamiento pero ese incremento es aparentemente diferente si se considera el tipo de cono (Figura 10). Pero hay que tener en cuenta que en número de parcelas es diferente para cada tiempo considerado.

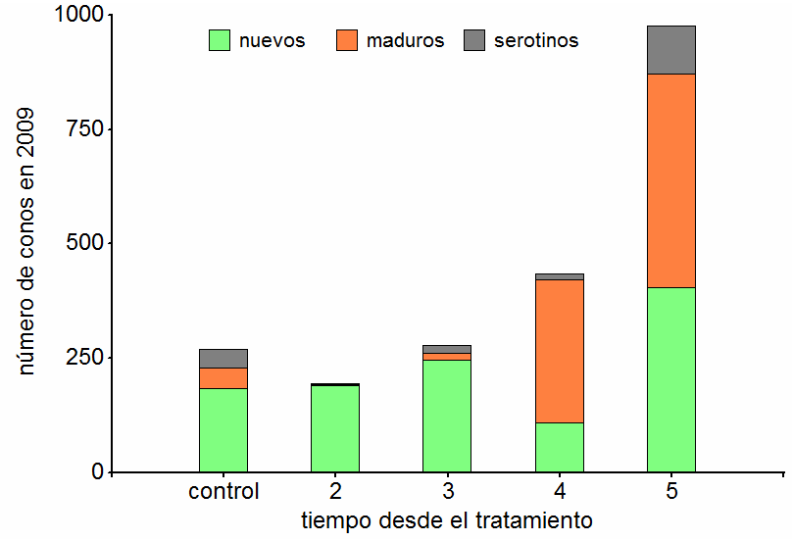

Figura 10. Número absoluto de conos localizados en función del tiempo desde el tratamiento.

Los conos nuevos son el tipo de cono más abundante en las zonas sin tratar y en los primeros años del tratamiento (a los 2 y 3 años), pero en estos casos los conos maduros y serotinos son muy poco frecuentes, con medias inferiores a 1000 conos por hectárea. En cambio después de 4 y 5 años del tratamiento el número de conos maduros aumenta superando los 5000 conos por hectárea de media. Después de este tiempo los conos serotinos aumentan su presencia pero sólo a los 5 años se obtiene una media superior a los 2000 conos por hectárea (Tabla 4).

tiempo	conos	nuevos	maduros	serotinos
control	4297,18	2928,45	716,20	652,54
2	8276,06	8106,29	84,88	84,88
3	5920,56	5241,50	297,09	381,97
4	9209,77	2334,27	6599,62	275,87
5	20732,58	8573,15	9910,05	2249,39

Tabla 4. Número medio de conos por hectárea en función del tiempo desde el tratamiento. Conos: número de conos medio por parcela sin considerar el tipo de cono.

Por lo tanto se evaluó el número de conos mediante un modelo mixto considerando el tipo de cono, el tiempo desde el tratamiento y la exposición. Los tres factores, la interacción triple y

todas las interacciones dobles, excepto la interacción tipo de cono – exposición, fueron significativas con un nivel de significancia del 0,05.

Si se consideran los efectos principales, hay que tener en cuenta que se analizan promediando los otros dos factores por lo que, los resultados analizados de esta manera al aparecer interacciones dobles y triples puede que no sean correctos para todos los niveles de los otros factores.

Primero respecto al tiempo desde el tratamiento se puede observar que con un nivel de significancia de 0,05, el número de conos es significativamente mayor a los 5 años del tratamiento. El número menor de conos se encuentra en las zonas sin tratar aunque no existen diferencias significativas con el número de conos encontrados a los 2 y 3 años del tratamiento. Segundo, respecto a la exposición, el número de conos en significativamente mayor en solana que en umbría. Por último, respecto al tipo de cono, el número de conos nuevos es significativamente mayor que el número de conos maduros y serotinos. A su vez el número de conos serotinos es significativamente menor que el número de nuevos y maduros (Figura 11 y Anexo 3 – Tablas 5 y 6).

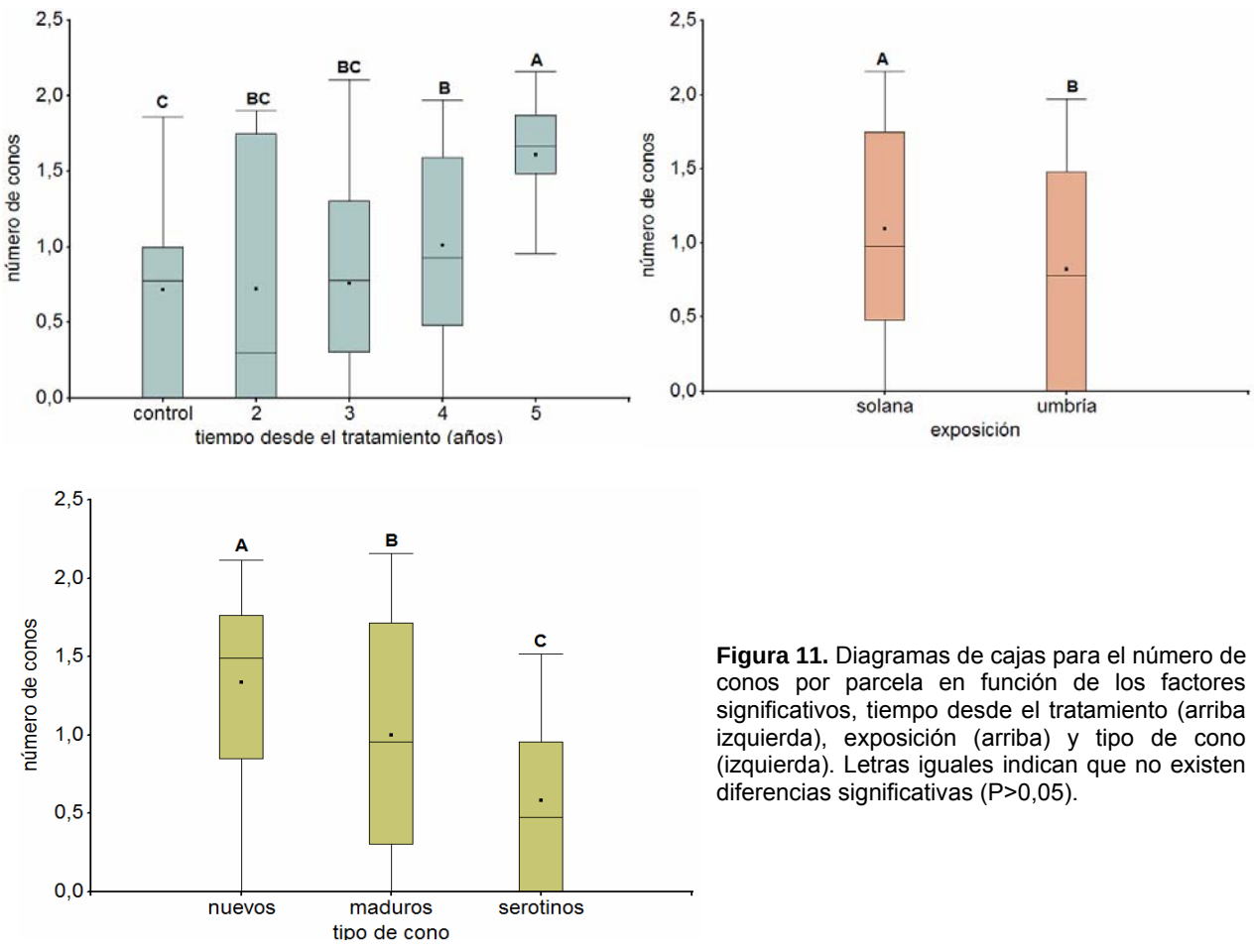

Figura 11. Diagramas de cajas para el número de conos por parcela en función de los factores significativos, tiempo desde el tratamiento (arriba izquierda), exposición (arriba) y tipo de cono (izquierda). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

En la interacción del tipo de cono con el tiempo desde el tratamiento se puede analizar la influencia del tratamiento para cada tipo de cono considerado promediando la exposición. Para los conos nuevos, se observa un número mayor de conos a los dos años de tratamiento (entre 3 y casi 5, aproximadamente) aunque no hay diferencias significativas a los 5 años. Además el número de conos es menor en las parcelas sin tratar (alrededor de 2 aproximadamente) aunque no se encontraron diferencias significativas a los 4 años de tratamiento. En los conos maduros también se observa el mayor número de conos a los 5 años (entre 3 y casi 5, aproximadamente) aunque no hay diferencias significativas a los 4 años. En cambio las parcelas sin tratar tienen un número de conos maduros superior que a los 2 años de tratamiento (aproximadamente entre 1 y 2 en las parcelas control frente al 1 de las parcelas tratadas hace 2 años) aunque no las diferencias entre las dos opciones son reducidas. Por último, los conos serotinos son significativamente más abundantes después de 5 años (entre 2 y 3 aproximadamente). Entre el resto de tiempos no existen diferencias significativas por lo que, hasta los 5 años el número de conos serotinos no aumenta (Figura 12 y Anexo 3 – Tabla 5).

Los conos nuevos son siempre significativamente más abundantes que los maduros y serotinos, excepto a los 4 años, que se ven superados por los conos maduros y a los 5 años, donde no hay diferencias significativas. A su vez, los conos serotinos son siempre los menos abundantes aunque a los 5 años aumente significativamente su presencia, como ya se ha comentado (Figura 12 y Anexo 3 – Tabla 5).

Al considerar la interacción del tiempo desde el tratamiento y la exposición se observa que en ambas exposiciones el mayor número de conos se encuentra 5 años después del tratamiento pero la evolución hasta los 5 años es diferente. En umbría las zonas sin tratar tienen el menor número de conos (menos de 1 cono) y a medida que pasa el tiempo este número va aumentado. En cambio en solana el menor número de conos se encuentra a los dos años, no habiendo diferencias significativas con los conos a los 4 años (entre 1 y 2 aproximadamente) por lo que el aumento de conos no es constante en el tiempo desde el tratamiento. En solana el número de conos es significativamente mayor en las parcelas sin tratar y hasta los 3 años desde el tratamiento, en cambio es mayor en umbría a los 4 años y por último, a los 5 años, que no hay diferencias significativas entre exposiciones (Figura 12 y Anexo 3 – Tabla 6).

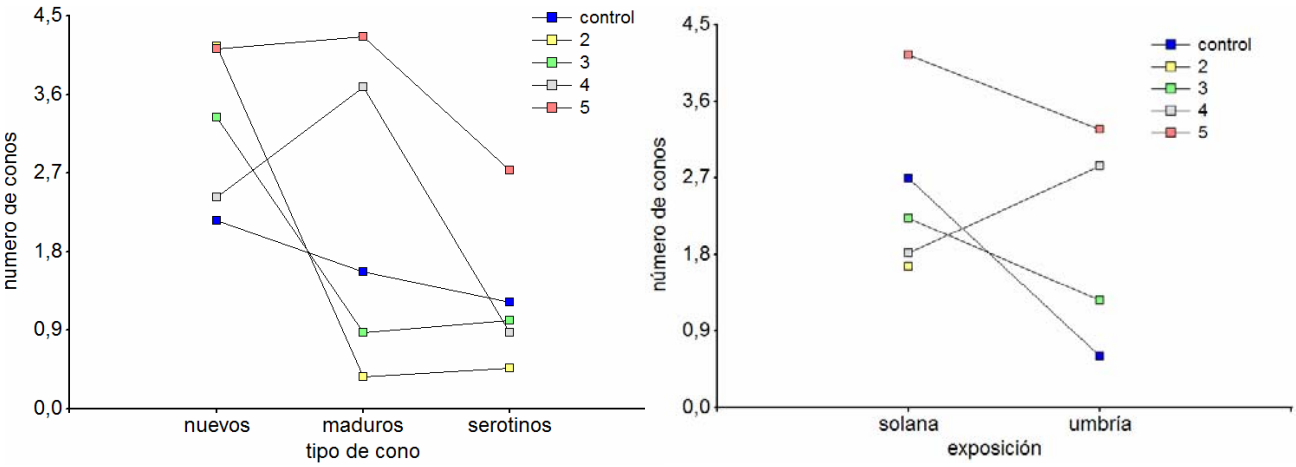

Figura 12. Diagramas de perfil para las interacciones dobles del número de conos por parcela

Si se analiza la interacción triple se puede observar que en general los conos son más abundantes en solana que en umbría excepto a los 4 años de tratamiento para los tres tipos de conos (Figura 13). En cambio estadísticamente no hay diferencias significativas entre solana y umbría para los conos maduros y los serotinos a los 4 años del tratamiento. Por lo tanto el número de conos sólo es significativamente mayor en umbría que en solana para los conos nuevos a los 4 años del tratamiento, donde se encontraron una media de 3,37 conos por parcela en umbría frente a 1,48 en solana (Anexo 3 – Tabla 7).

Los conos nuevos son significativamente mayores en solana que en umbría en las zonas control y después de 2 y 3 años de tratamiento, en cambio a los 5 años del tratamiento no hay diferencias significativas entre exposiciones, con unas medias alrededor de 4 conos por parcela (Figura 13 y Anexo 3 – Tabla 7).

Por otro lado, para los conos maduros sólo en las zonas sin tratar se observaron diferencias significativas entre exposiciones, teniendo una media de menos de 1 en las zonas de umbría y superior a 2 en solana. Por último, respecto a los conos serotinos, son siempre significativamente superiores en solana que en umbría excepto a los 4 años que no hay diferencias entre exposiciones (Figura 13 y Anexo 3 – Tabla 7).

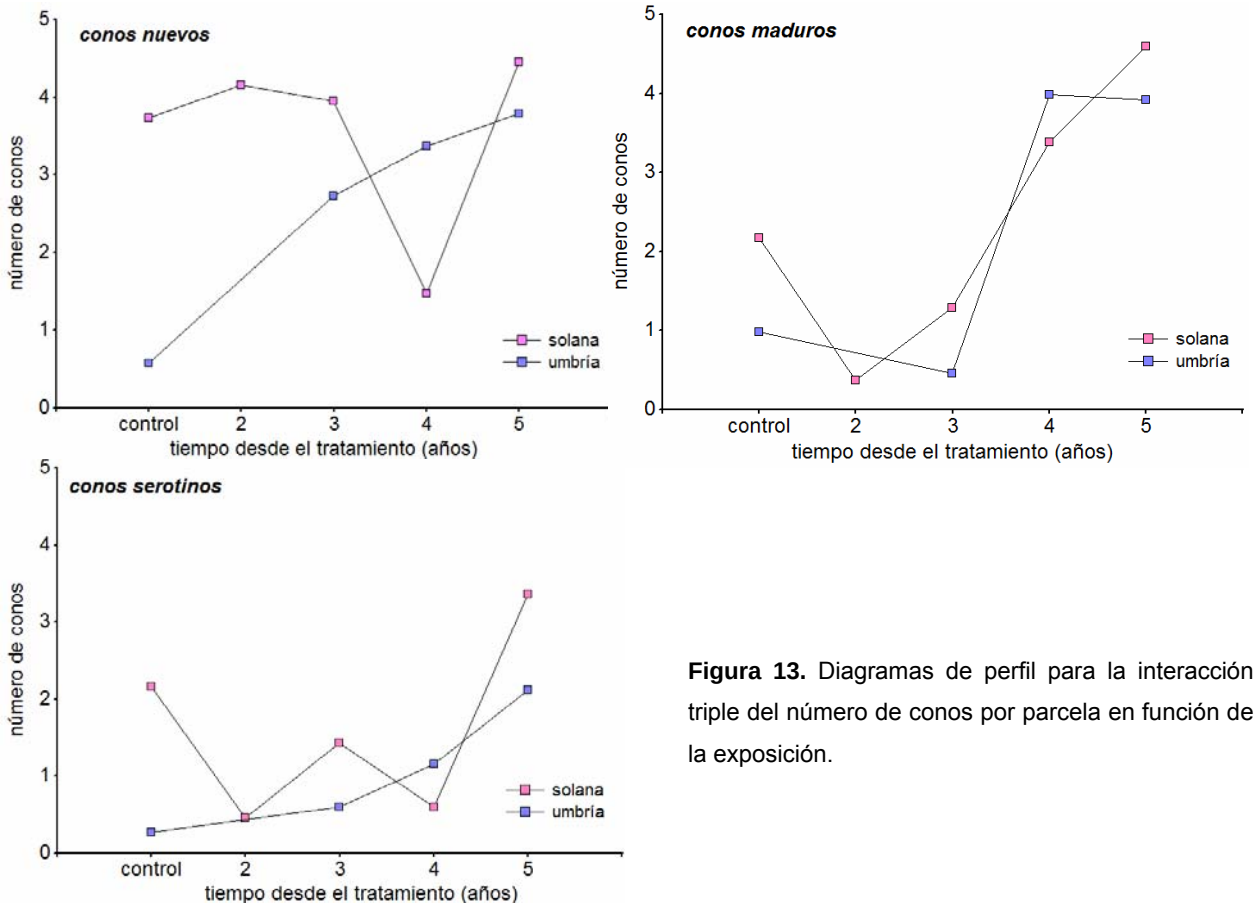

Figura 13. Diagramas de perfil para la interacción triple del número de conos por parcela en función de la exposición.

Respecto al tipo de cono, en general los conos nuevos son más abundantes que los maduros y serotinos, excepto a los 4 años del tratamiento que los conos maduros aumentan su presencia y son significativamente superiores que los nuevos en solana, con una media de 3,4 conos maduros por parcela frente a una media de 1,5 conos nuevos. En umbría a pesar de ser algo mayores los maduros, no hay diferencias significativas con los nuevos a los 4 años (Figura 14 y Anexo 3 – Tabla 7).

Para los conos nuevos en solana no se encontraron diferencias significativas entre las zonas control y a los 2 y 3 años del tratamiento, en cambio en umbría no se encontraron diferencias entre las parcelas tratadas a los 3, 4 y 5 años (Anexo 3 – Tabla 7).

Los conos maduros en ambas exposiciones aumentan con el paso del tiempo excepto a los 3 años del tratamiento en umbría, con una media de 0,46 conos, aunque estadísticamente no hay diferencias significativas con las zonas sin tratar, donde se encontraron una media de 0,98 conos por parcela. A pesar de esa tendencia al aumento de conos maduros, no se encontraron diferencias significativas para los conos maduros en solana a los 2 y 3 años del tratamiento y entre los 4 y 5 años del tratamiento en umbría (Figura 14 y Anexo 3 – Tabla 7).

Por último respecto a los conos serotinos, son los conos menos frecuentes ya que hasta los 5 años del tratamiento no se observa un aumento significativo, llegando aproximadamente a 3 conos por parcela en solana y aproximadamente 2 en umbría, valores significativamente inferiores a los otros dos tipos de conos considerados (Figura 14 y Anexo 3 – Tabla 7).

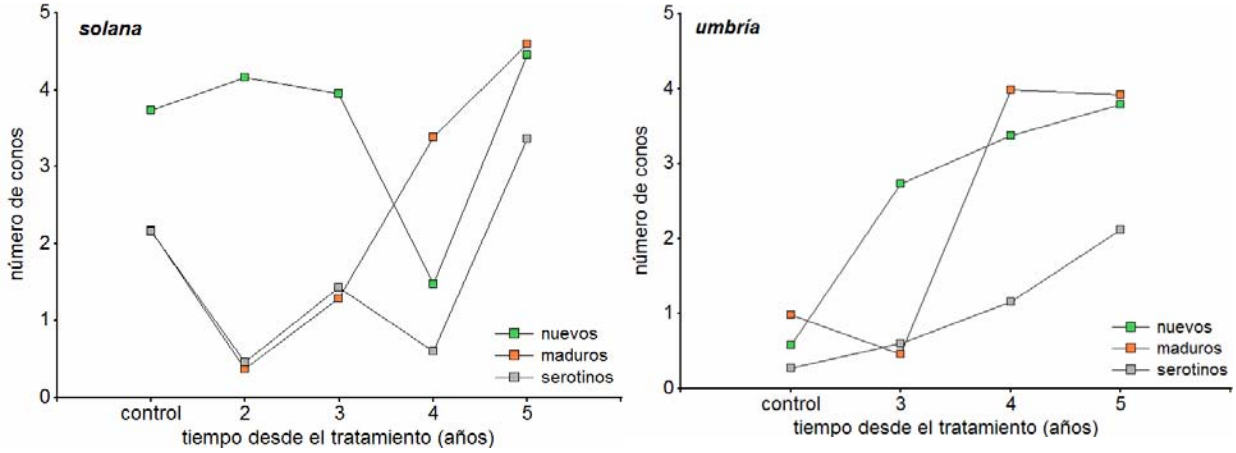

Figura 14. Diagrama de perfil para la interacción triple del número de conos por parcela en función del tipo de cono

En general los conos son más abundantes después de 5 años del tratamiento aunque no hay diferencias significativas después de 4 años para los conos nuevos y maduros en umbría. Tampoco hay diferencias significativas para los conos nuevos en solana entre las zonas tratadas hace 5, 3 y 2 años (Figura 15 y Anexo 3 – Tabla 7).

Las zonas sin tratar tienen el menor número de conos nuevos y serotinos en umbría, con una media de 0,57 y 0,27 conos por parcela de media, respectivamente, aunque en el caso de los conos serotinos en umbría no se observan diferencias significativas con los conos de las zonas tratadas hace 3 y 4 años. Para el resto de conos y exposiciones las zonas control no son las zonas con menor número de conos, excepto para los maduros en umbría que no hay diferencias significativas con el menor valor, 0,46 conos por parcela, que se encuentran a los 3 años del tratamiento (Figura 15 y Anexo 3 – Tabla 7).

3. Biomasa

En el caso de la biomasa aérea se observó con un nivel de significancia del 0,05 que el tiempo desde el tratamiento y la exposición resultaron significativos mientras que la interacción entre ambos no resultó significativa. Se obtuvo una biomasa mayor en las parcelas con más tiempo desde el tratamiento (4 y 5 años después), con 0,314 m^3 y 0,368 m^3, no habiendo diferencias significativas entre ellas. En cambio se obtuvo la biomasa menor en las parcelas no tratadas (0,162 m^3) no existiendo diferencias significativas con la parcela tratada hace 2 años. A su vez

no se encontraron diferencias significativas entre las parcelas tratadas hace 2 y 3 años. Respecto a la exposición, a pesar de resultar significativo el factor, no se observaron diferencias entre la biomasa obtenida en solana y en umbría (0,272 m^3 frente a 0,270 m^3, respectivamente) (Figura 16 y Anexo 3 – Tabla 8)

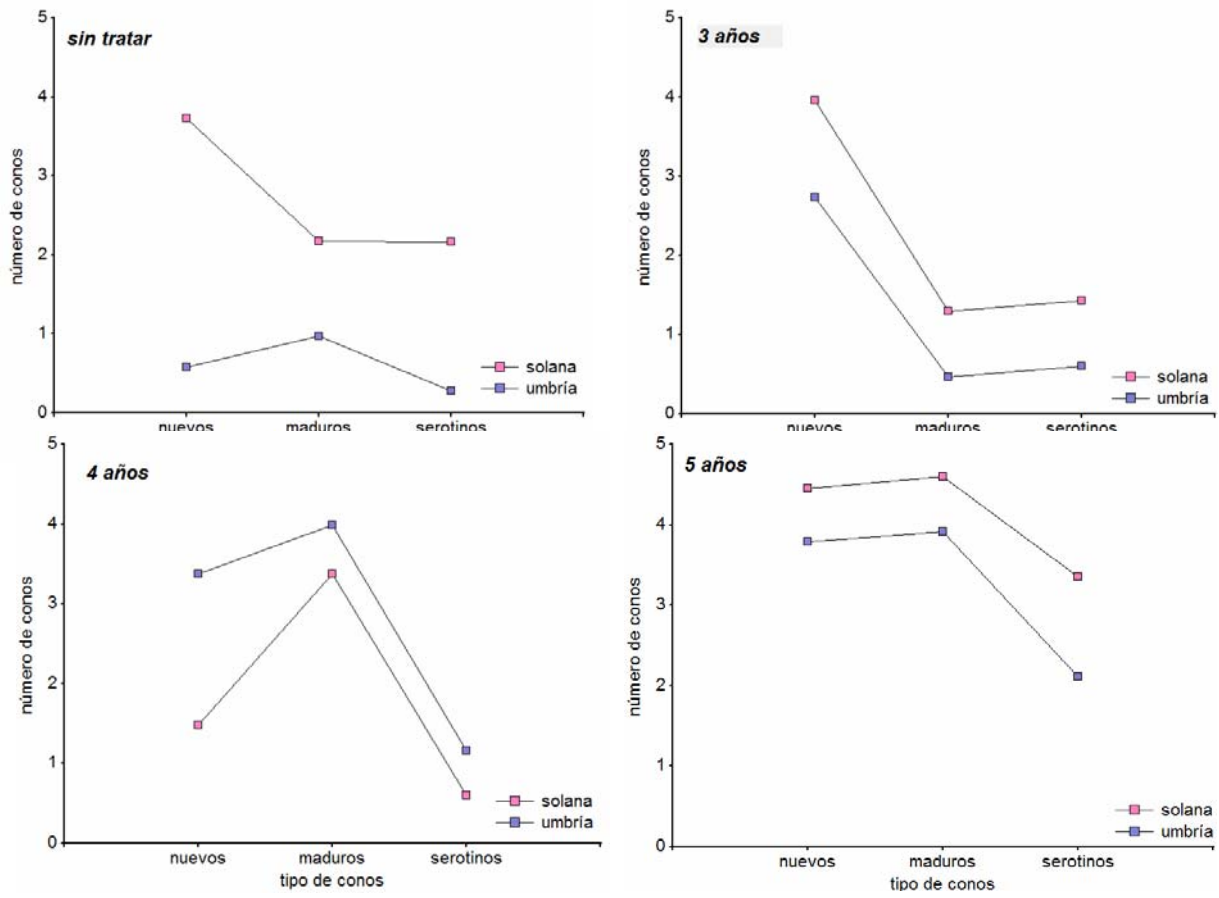

Figura 15. Diagrama de perfil para la interacción triple del número de conos por parcela en función del tiempo desde el tratamiento.

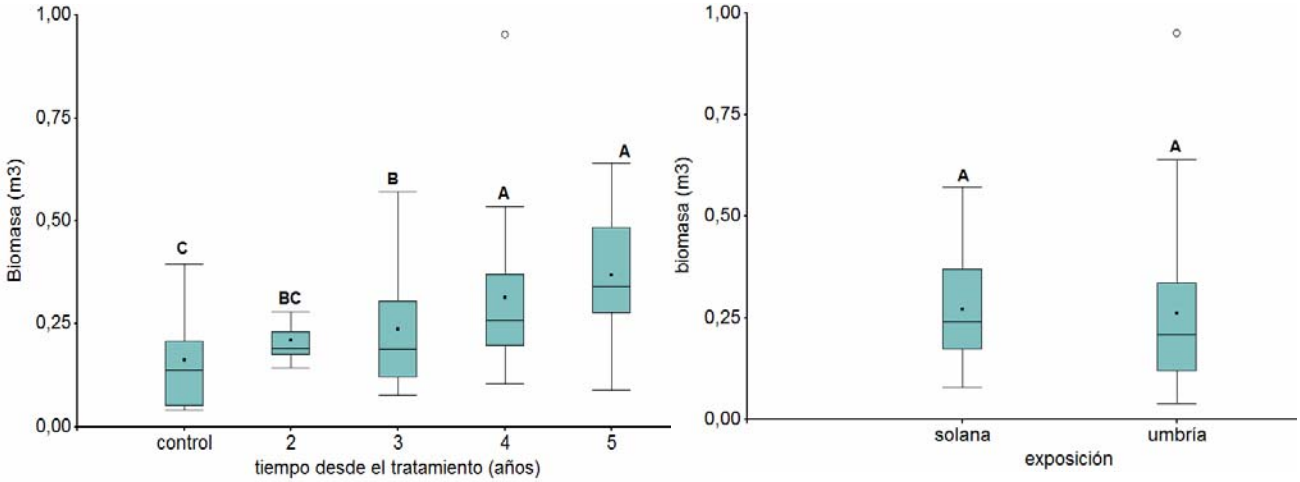

Figura 16. Diagramas de cajas para la biomasa en función de los factores significativos, tiempo desde el tratamiento (izquierda) y exposición (derecha). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

4. Crecimiento anual

En el caso del crecimiento radial anual el tiempo desde el tratamiento y la interacción entre el tiempo y la exposición son significativos, en cambio la exposición por sí sola no lo es al 95% de significación. Los menores crecimientos se obtuvieron en las parcelas control, donde no se trató, aunque no hay diferencias significativas al año de tratar (1,04 mm y 1,14 mm, respectivamente). Los crecimientos anuales fueron mayores a los 4 años del tratamiento (1,965 mm), no habiendo diferencias significativas a los 3 años del tratamiento (1,926 mm). Tampoco se observaron diferencias significativas a los 2 y a los 5 años del tratamiento (1,642 y 1,650 mm, respectivamente). Es decir, no se observan mejorías al año de tratar, el crecimiento aumenta con un máximo a los 3-4 años y luego desciende, pero siempre es mayor el crecimiento de las zonas tratadas que sin tratar (Figura 17 y Anexo 3 – Tabla 9).

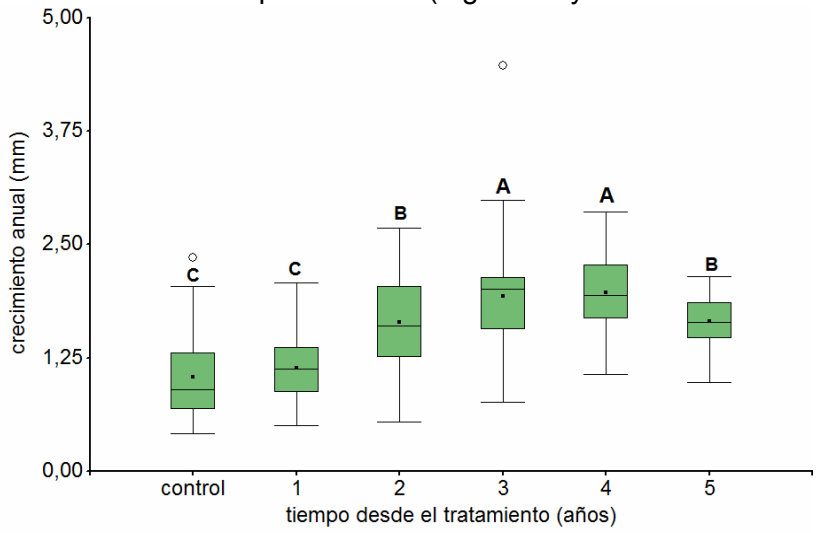

Figura 17. Diagrama de cajas para el crecimiento anual en función de los factores significativos, tiempo desde el tratamiento. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05).

En la interacción de la exposición con el tiempo desde el tratamiento no se observan diferencias significativas entre exposiciones excepto en los casos de las zonas sin tratar, donde el crecimiento anual en umbría es de 0,89 mm frente a aproximadamente 1,5 mm en solana. A su vez el crecimiento en las zonas sin tratar de solana es superior al crecimiento observado al año del tratamiento. Entre los crecimientos a los 3 y 5 años se observan diferencias entre exposiciones pero estadísticamente no son significativas (Figura 18 y Anexo 3 – Tabla 9).

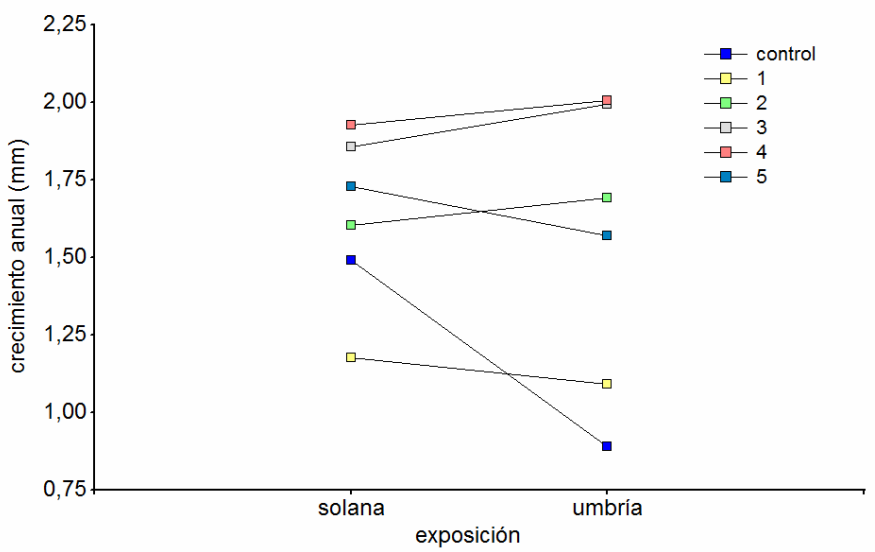

Figura 18. Diagrama de perfil para el crecimiento anual

DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo muestran que, en general, el tratamiento selvícola aplicado en la regeneración post-fuego de *Pinus halepensis* tiene un efecto positivo en el tamaño del regenerado, el potencial reproductivo, la biomasa y el crecimiento anual de los árboles si comparamos las zonas control con las zonas tratadas, con independencia del tiempo que ha pasado desde el tratamiento. Tratamiento selvícolas intensos pueden provocar cierto decaimiento que facilite al año del tratamiento el ataque de insectos como *Pachyrhinus squamosus* (González-Ochoa y de las Heras 2002) pero en el presente trabajo no se observaron daños ni enfermedades graves por lo que aparentemente no hay un efecto negativo en ese aspecto.

El tiempo desde el tratamiento, la exposición y su interacción fueron significativos para el tamaño del regenerado considerando todos los árboles de la parcela. Se observó un diámetro basal mayor a los 5 años del tratamiento y el diámetro menor en las zonas sin tratar, aunque en este caso no había diferencias significativas entre el diámetro basal de las zonas control y el diámetro basal a los 2 y 3 años de edad. En cambio al analizar sólo los árboles apeados se obtienen los diámetros menores en las zonas control, siendo significativamente menor que los diámetros basales del resto de años desde el tratamiento. Este resultado es similar al hallado por Madrigal et al. (2004) que analizaron un clareo de peso de corta similar en regeneración post-fuego de *Pinus pinaster*. Observaron pequeñas diferencias entre los diámetros de las zonas tratadas después de un año y las no tratadas, siendo más evidente esta diferencia

después de dos años. También Navarro et al. (2010) analizaron tratamiento de clareos en repoblaciones jóvenes de *Pinus halepensis* en zona mediterránea y observaron que el diámetro basal aumentaba después del tratamiento aunque ese aumento con el tiempo iba siendo menor. A pesar de esto se mantuvo a lo largo del tiempo la diferencia con las zonas control. González-Ochoa et al., (2004) estudiaron el crecimiento (en altura y diámetro) y la producción de conos en la regeneración post-fuego del mismo incendio que el presente trabajo. Aplicaron 7 tratamientos a partir de la combinación de 3 (clareos hasta dejar 1600 pies/ha, eliminación del matorral y poda) y analizaron el crecimiento después de 2 años del tratamiento. Previamente observaron una heterogeneidad entre las parcelas con los mismos tratamientos seguramente debido a un efecto del micrositio. Por lo tanto incluir el crecimiento previo en el presente análisis puede ayudar a eliminar dicho efecto del micrositio que puede estar asociado a diferencias de productividad. En este caso el diámetro basal mayor se encuentra a los 5 años del tratamiento aunque no hay diferencias significativas con el diámetro que se obtiene a los 4 y 2 años del tratamiento.

Otra diferencia entre los análisis del tamaño se encuentra en la exposición, ya que al considerar todos los árboles de la parcela para el diámetro basal influye la exposición y su interacción con el tiempo desde el tratamiento, en cambio al considerar sólo los pies apeados e incluir el crecimiento previo como covariable sólo influye la interacción. En ambos casos el diámetro basal es mayor en solana que en umbría en las zonas control pero es mayor en umbría a los 4 años del tratamiento. González-Ochoa et al., (2004) consideraron dos sitios, Calasparra (Murcia) y Yeste (Albacete), cuya principal diferencia es la precipitación, siendo Calasparra más seco que Yeste y observaron diámetros mayores en la zona más húmeda (Yeste). En este trabajo las zonas en umbría serán más húmedas que las de solana pero no podemos concluir claramente, debido a la interacción con el tiempo, que en umbría los diámetros son mayores.

El análisis dendroecológico permite conocer con exactitud el crecimiento anual del árbol, además en este trabajo el análisis del crecimiento a partir de esta técnica ha permitido incluir la variabilidad intra-anual, en este caso mediante la precipitación anual. En esta variable la exposición por sí sola no tiene una influencia significativa, pero sí la tienen el tiempo desde el tratamiento y la interacción del tiempo y la exposición. El crecimiento es significativamente menor en las zonas control y al año del tratamiento, lo que muestra que el efecto del tratamiento no se observa hasta después de dos años. Este resultado difiere al encontrado por Madrigal et al. (2004) ya que analizaron la influencia del clareo en el diámetro basal, entre otras variables, pero también en el crecimiento mediante medias repetidas durante dos años. Entonces para el diámetro basal observaron que el crecimiento anual fue mayor en las zonas

tratadas que las zonas sin tratar en los dos años estudiados, pero ese crecimiento fue mayor al año del tratamiento que a los dos años.

Por otro lado se ha observado una zona de máximo crecimiento a los 3 y 4 años del tratamiento, disminuyendo otra vez a los 5 años, aunque en este último el crecimiento sigue siendo significativamente mayor que en las zonas sin tratar. Navarro et al. (2010b) también observaron mayores diámetros después del tratamiento con un descenso de ese aumento a lo largo del tiempo (4 años).

Por otro lado si se analiza la interacción del tiempo desde el tratamiento y la exposición se observa que ese crecimiento mayor se alarga hasta los 5 años en solana. Por lo demás, no se muestran grandes diferencias entre exposiciones, sólo en las zonas sin tratar se observó mayor crecimiento en solana que en umbría. Por lo tanto el crecimiento anual a corto plazo es mayor después del clareo que sin aplicar el tratamiento.

Al analizar la altura considerando todos los pies de la parcela los dos factores considerados y su interacción fueron significativos. Se observó una mayor altura a los 5 años del tratamiento pero no se puede concluir claramente diferencias entre el resto. En cambio al introducir en el análisis el crecimiento previo para los árboles apeados se observaron las mayores alturas después de un tiempo del tratamiento (4 y 5 años) en cambio no había diferencias significativas entre las alturas de las zonas sin tratar y las tratadas hacía 2 y 3 años. Este período de tiempo desde que se aplica el tratamiento hasta que se nota un efecto positivo en la altura ya fue observado por otros autores (González-Ochoa et al., 2004 o Madrigal et al. 2004) pero su duración difiere con los resultados del presente trabajo. Ambos autores observaron después de dos años alturas superiores en cambio en el presente trabajo no se observó una altura mayor hasta 4 años después del tratamiento.

La exposición para la altura es significativa en los dos tipos de análisis, siendo mayor en solana que en umbría. En cambio González-Ochoa et al., (2004) observaron mayores alturas en Yeste, zona más húmeda, que en Calasparra lo que puede indicar una calidad de sitio mayor en Yeste, como ocurre con el diámetro.

Respecto al tipo de tratamiento aplicado en este trabajo, clareos hasta obtener una densidad de 1600 pies/hectárea con poda de los regenerados liberados, difiere en los tratamientos que mejoraron el diámetro y la altura en el trabajo de González-Ochoa et al., (2004). Estos autores, en el lugar más húmedo obtuvieron mayores tamaños mediante clareos simples en cambio en el lugar más seco, que es más similar a la zona de muestreo del presente trabajo, se obtuvieron tamaños mayores mediante clareos con eliminación del matorral. En ambos sitios la poda no obtuvo los mejores resultados y los autores no la recomiendan para zonas similares a las de su

trabajo, por lo tanto el tratamiento aplicado en el presente trabajo, según González-Ochoa et al., (2004), no sería el más adecuado para favorecer el tamaño del regenerado. A pesar de esto los resultados obtenidos fueron mejor en las zonas tratas que en las zonas sin tratar.

El potencial reproductivo analizado muestra en general un aumento del número de conos a corto plazo después del tratamiento, siendo más abundantes los conos nuevos y en solana. El mayor número de conos se obtuvo a los 5 años del tratamiento, momento en el cual también se nota un aumento de conos maduros. Autores como González-Ochoa et al. (2004) o Verkaik y Espelta (2006) también observaron esa influencia positiva del clareo en el potencial reproductivo. Verkaik y Espelta (2006) observaron que los clareos en este tipo de masas aumenta el número de pinos reproductivos y el número de conos por pino, sobre todo en masas jóvenes (10 años) ya que el tratamiento acorta el período juvenil no reproductivo. González-Ochoa et al., (2004) observaron ese aumento de fructificación a los 22 meses del tratamiento, en cambio en el presente trabajo hasta los 4-5 años no fue patente ese aumento de conos. Los conos nuevos son relativamente abundantes al segundo año del tratamiento pero los conos serotinos son siempre menos frecuentes. Esto puede deberse a la misma naturaleza de los conos considerados, ya que los maduros tienen entre 2 y 3 años y los serotinos más de 3 años. Por lo tanto, si en las zonas control el número de conos era bajo, a pesar del tratamiento la aparición de conos maduros y serotinos necesitará un tiempo. Este resultado difiere del obtenido por de las Heras et al., (2007) que analizaron la influencia del clareo y la poda en el número de conos por hectárea en regeneración post-fuego de pino carrasco a los 6 años del tratamiento. Consideraron la misma clasificación de conos nuevos, maduros y serotinos que el presente trabajo, pero no observaron diferencias entre las zonas tratadas y no tratadas. La única diferencia que observaron fue en los conos serotinos que fueron significativamente más abundantes en las zonas donde sólo se aclaró. A su vez si no consideran el tipo de cono se observa el mismo resultado, que la presencia de conos es mayor en las zonas aclaradas.

Se observó cierta diferencia entre exposiciones, siendo en general los conos más abundantes en solana, como ocurre con los tres tipos de conos considerados en las zonas control, pero después del tratamiento estas diferencias no son tan claras, ya que en varias ocasiones no hay diferencias entre exposiciones.

El análisis de la biomasa muestra un aumento significativo a los 4 y 5 años de edad. En cambio la biomasa fue menor en las zonas control, aunque no hubo diferencias significativas a los 2 años del tratamiento. Esto muestra que se necesita un tiempo (3 años) para que se vea un aumento de la biomasa por el tratamiento.

CONCLUSIONES

El clareo semi-sistemático aplicado en la regeneración post-fuego de pino carrasco en zonas mediterráneas tiene un efecto positivo sobre el tamaño, crecimiento, biomasa y potencial reproductivo en caso de una regeneración excesiva. Dicho efecto se ve influenciado por la exposición de la masa, es decir, dependerá del acceso al agua y nutrientes edáficos, así como la radiación recibida, entre otros factores que definen la exposición.

Con el tratamiento aplicado se ha logrado el objetivo que se fijó al inicio de los clareos, ya que se pretendía implantar una cubierta arbórea madura de pinar. El tratamiento mejora el tamaño, la biomasa y el crecimiento anual del regenerado a corto plazo, lo que acelerará su madurez. Dicho efecto no es significativo en los dos primeros años del tratamiento, debido posiblemente al estrés producido en el regenerado por el tratamiento, pero en general a partir del tercer año mejoran las condiciones de la masa. Ese efecto positivo sobre el crecimiento anual se ve reducido al quinto año del tratamiento pero en ese período de tiempo el crecimiento de un árbol aclarado es mayor que el de un árbol en una masa sin tratar. Por lo tanto, aunque ese efecto se disipe con el tiempo, en los primeros años después del tratamiento los árboles habrán crecido de una forma superior, acelerando el desarrollo de la masa.

El potencial reproductivo también se ve positivamente influenciado por el tratamiento, aumentando así el número de conos. Desde el inicio del tratamiento los conos nuevos son abundantes pero a los 4-5 años empieza a aumentar la presencia de conos maduros y serotinos, lo que no sucede en las zonas sin tratar. Esto permite acelerar la madurez de la masa y su viabilidad ante una nueva regeneración en caso de otra perturbación. Un incendio en una masa que no tienen capacidad de regenerarse puede suponer la pérdida del pinar y por consiguiente un gasto económico muy alto para volver a recuperarlo.

El efecto de la exposición no ha sido suficientemente claro pero indica que las condiciones en las que se desarrolle el regenerado serán clave para conocer exactamente el efecto del tratamiento.

Cabe comentar el análisis estadístico llevado a cabo en este trabajo. Análisis clásicos como el análisis de la varianza o el análisis de la covarianza, que permite incluir variables que influyen pero no de una forma tan directa como para considerarlas un factor, pueden responder a las hipótesis planteadas. Pero cuando no se consigue cumplir los supuestos básicos de los modelos lineales generales, hay que acudir a otros métodos estadísticos, como pueden ser los modelos logísticos, modelos mixtos o las regresiones Zero Inflated Poisson (ZIP). En este caso la regresión ZIP no era una opción viable debido a la falta de variables continuas pero los

modelos mixtos resolvieron el problema con el potencial reproductivo. Por lo tanto hay que conocer los métodos estadísticos que mejor se adapten a los datos de los que se dispone e investigar nuevos métodos que puedan dar respuesta a las hipótesis planteadas.

Por último resaltar la importancia de seguir desarrollando trabajos a escala real que ayuden a confirmar las tendencias observadas. El control de variables micro-ambientales o el peso del clareo serán claves para el desarrollo de experimentos sobre el efecto de diferentes alternativas de manejo.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaraz F, Sánchez-Gómez P, de la Torre A, Ríos S, Álvarez Rogel J. 1991. Datos sobre la vegetación de Murcia (España). DM-PPU, Barcelona, España. 162 pp.

Cabezas JdeD, Masía R. 2004. Programa para el seguimiento y control post-incendio en los ecosistemas forestales de Moratalla, Murcia, España. II Simposio Internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra incendios forestales: una visión global. Córdoba (España). 19-22 de abril pp. 75-84.

Carrión-Vilches MA, Coy Gómez E, Fernández Jiménez S, Guerra Montes J, Hernández González A, Jiménez Martínez JF, López Espinosa J A, Sánchez-Gómez P, Vera Pérez JB 2003. Nueva Flora de Murcia. DM-PPU, Barcelona, España. 499 pp.

Centre de la Propietat Forestal 2004. Annexe Indicadors dendrométrics En: Manual de redacció de plans tècnics de gestió i millota forestal (PTGMF) i plans simples de gestió forestal (PSGF). Instruccions de redacció i l'inventari forestal. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Centre de la Propietat Forestal. Barcelona, España. pp 211-314.

Chirino E, Bonet A, Bellot J, Sánchez JR. 2006. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. Catena 65 19-29

Corona P, Leone V, Saracino A. 1998. Plot size and shape for the early assessment of post-fire regeneration in Aleppo Pine Stands. New Forest 16: 213–220

de las Heras J, Martínez-Sánchez JJ, González-Ochoa AI, Ferrandis P, Herranz JM. 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. Acta Oecol 23 91-97

de las Heras J, Moya D, López-Serrano F, Condés S. 2007. Reproduction of postfire *Pinus halepensis* Mill. stands six years after silvicultural treatments. Ann For Sci, 64 59-66

Gil L, Díaz-Fernández PM, Jiménez, MP, Roldán M, Alía R, Agúndez D, de Miguel J, Martín S, de Tuero M. 1996. Las regiones de procedencia de *Pinus halepensis* Mill. en España. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid, España. 113 pp.

González-Ochoa A, de las Heras J. 2002. Effects of post-fire silviculture practices on *Pachyrhinus squamosus* defoliation levels and growth of *Pinus halepensis* Mill. Forest Ecol Manag 167 185-194

González-Ochoa AI, López-Serrano FR, de las Heras J. 2004. Does post-fire forest Management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*? Forest Ecol Manag 188 235-247

IPCC, 2007. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kollmann F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. IFIE, Madrid, España. 1959. 675 pp

Madrigal J, Martínez E, Hernando C, Gujarro M, Díez C, Vega JA, Pérez-Gorostiaga P, Fonturbel T, Cuiñas P, Alonso M, Beloso MC. 2004. Respuesta a corto plazo del regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. a clareos mecanizados intensos. Silva lusitana 12 (1): 1-14

Maestre FT, Cortina J. 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? Forest Ecol Manag, 198 303-317

Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Giannakopoulos C, Corte-Real J. 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Clim Res 31: 85-95.

Moya D, de las Heras J, López-Serrano FR, Condes S, Alberdi I. 2009. Structural patterns and biodiversity in burned and managed Aleppo pine stands. Plant Ecol 200:217-228.

Muller KE, Fetterman BA. 2002. Regression and ANOVA: an integrated approach using SAS software. SAS Press y John Wiley Sons Inc., Carolina del Norte, Estados Unidos. 584 pp.

Navarro FB, Jiménez MN, Gallego E, Ripoll MA. 2010a. Short-term effects of overstory reduction and slash mulching on ground vegetation in a Mediterranean Aleppo pine Woodland. Eur J Forest Res 129:689-696.

Navarro FB, Jiménez MN, Cañadas EM, Gallego E, Terrón L, Ripoll MA. 2010b. Effects of different intensities of overstory thinning on tree growth and understory plant-species productivity in a semi-arid *Pinus halepensis* Mill. afforestation. Forest Systems 19(3), 410-417

Olivar J. 2009. Growth dynamics and responses of intra-annual density fluctuations to climate in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) trees of different crown classes identifying strongly related climatic variables. Tesis de master. Universidad de Valladolid.

Orozco E, Jordán E. 2007. Estudio de la influencia de la intensidad de poda en *Pinus halepensis* Mill. sobre diversos parámetros morfológicos, fisiológicos y biológicos. Universidad de Castilla-La Mancha y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Dirección General del medio Natural. 63 pp.

Pausas JG, Ribeiro E, Vallejo R. 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the Eastern Iberian Peninsula. Forest Ecol Manag, 203 251-259

Vega Hidalgo JA. 2003. Regeneración del género *Pinus* tras incendios. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 15: 59-68

Verkaik I, Espelta JM. 2006. Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in Pinus halepensis. Forest Ecol Manag 231 155-163

Zagas T, Ganatsas P, Tsitsoni T, Tsakaldimi M. 2004. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. stands in the Sithonia peninsula, northern Greece. Plant Ecol 171: 91-99.

ANEXO 1. ANEXO FOTOGRÁFICO

Foto 1. Vista general de la Sierra del Cerezo, Moratalla, Murcia

Foto 2. Trabajo selvícola: clareo semi-sistemático. Tratamiento mecanizado mediante una desbrozadora de martillos y tratamiento manual mediante motodesbrozadora.

Foto 3. Vista general de la zona tratada

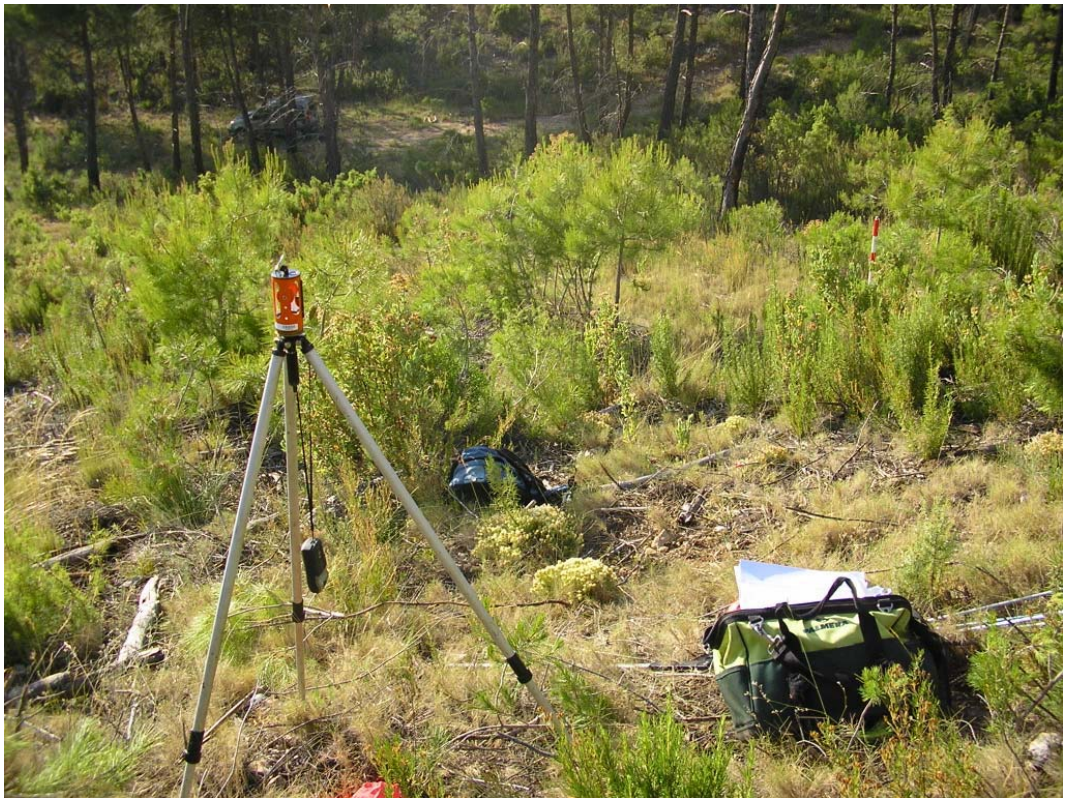

Foto 4. Instalación de las parcelas: brújula basculante en el centro y sectores marcados con jalones.

Foto 5. Regeneración post-fuego en las zonas de umbría

Foto 6. Instalación de las parcelas: toma de mediciones

Foto 7. Tipos de conos considerados (de izquierda a derecha): nuevos, maduros y serotinos.

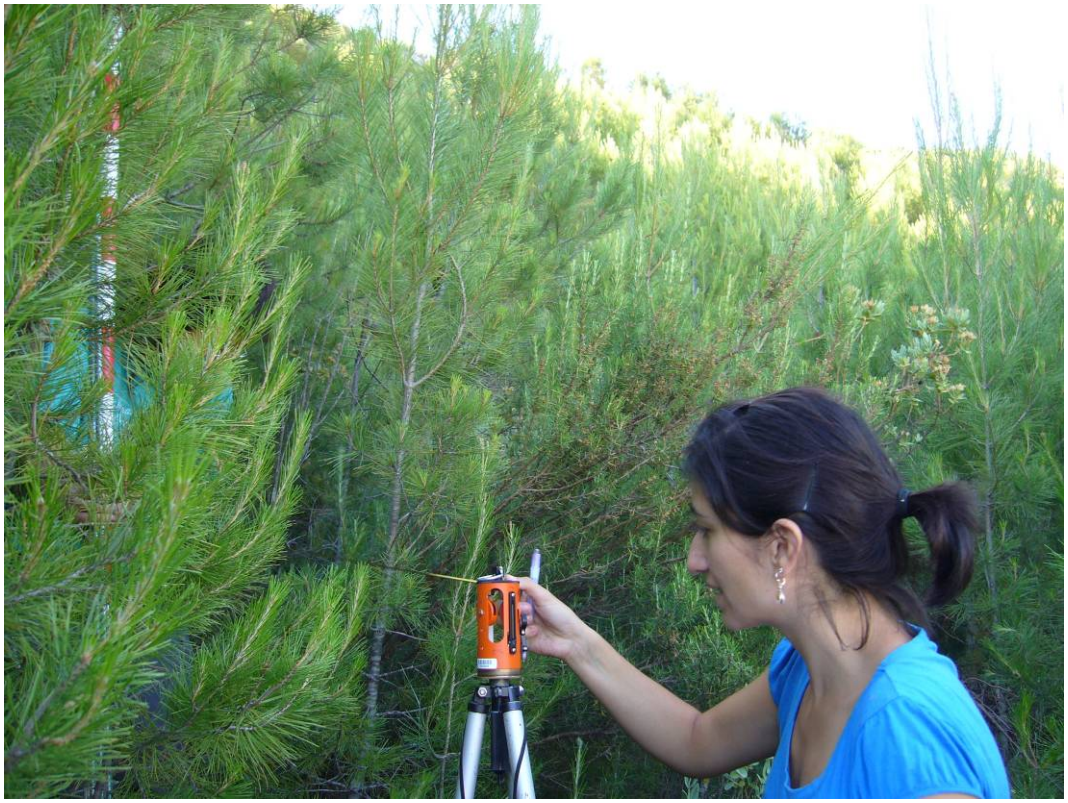

Foto 8. Mediciones en las parcelas sin tratar en umbría

Foto 9. Poda previa al apeo para la extracción de las rodajas para el análisis dendroecológico

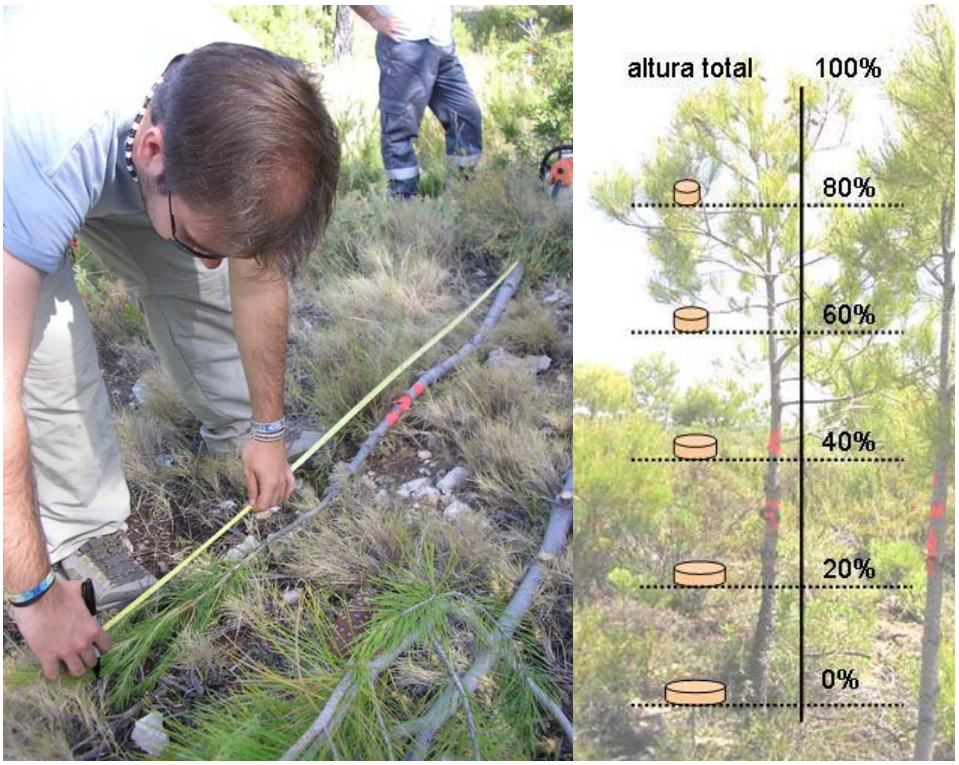

Foto 10. División del árbol para obtener 5 rodajas repartidas uniformemente

Foto 11. Lijado de las rodajas

Foto 12. Rodajas lijadas de un árbol apeado para el análisis dendroecológico

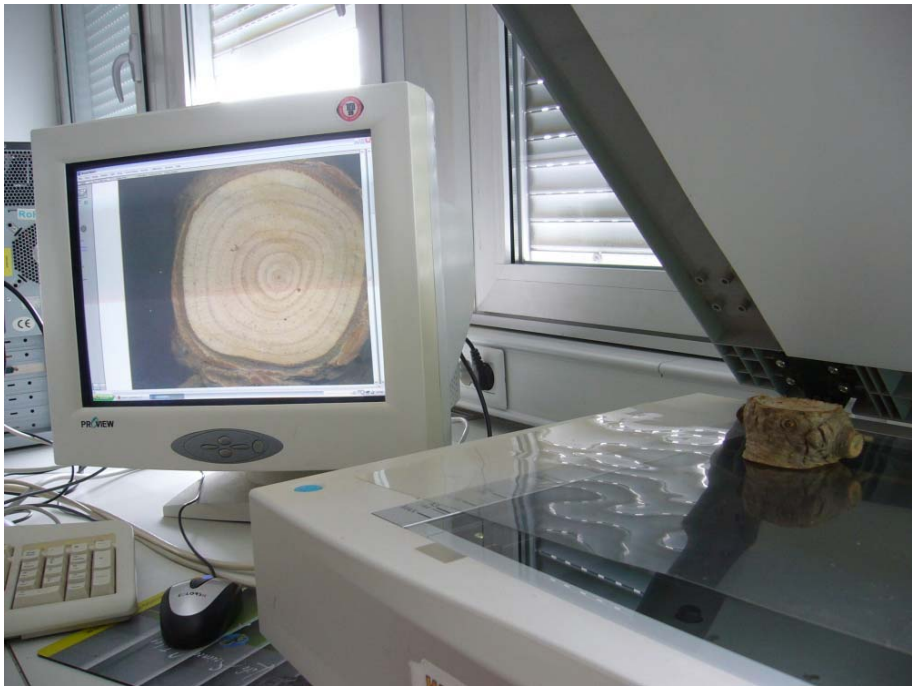

Foto 13. Escaneo de las rodajas y análisis con el software Windendro ®

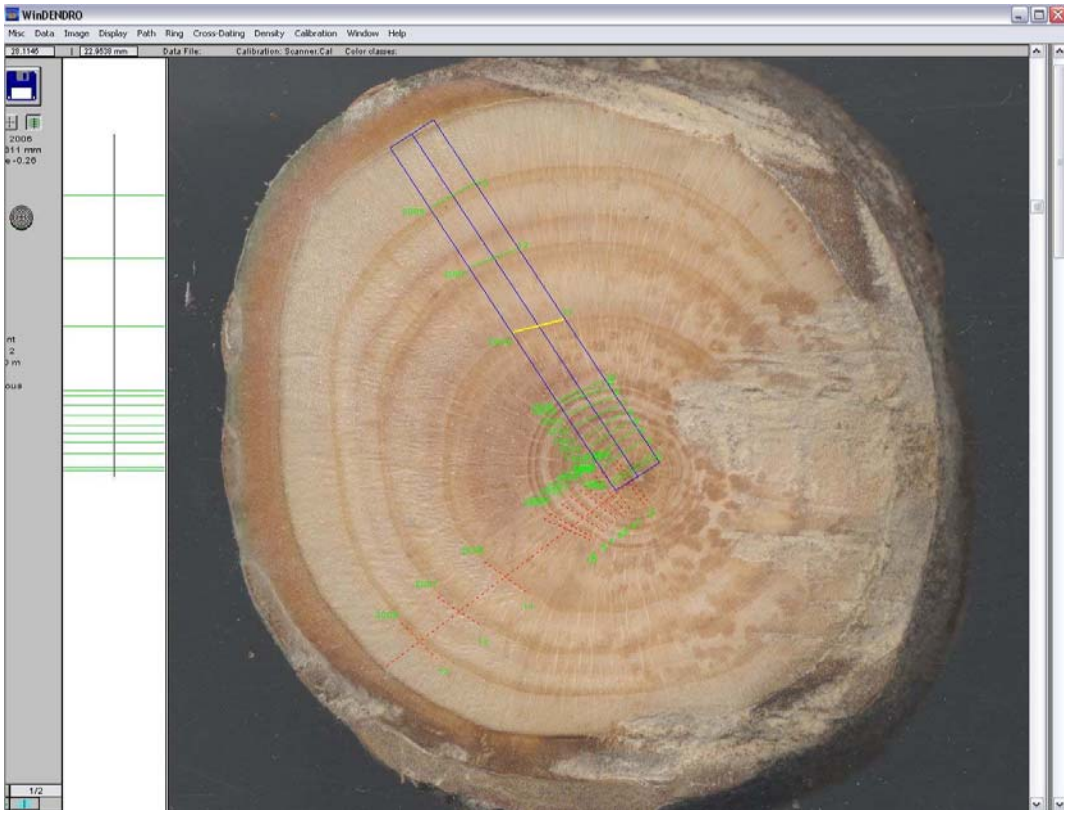

Foto 14. Imagen del software Windendro ®

ANEXO 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1. *Tamaño: ANOVA*

```
PROC IMPORT OUT= MASTER.arbolesparcela
            DATAFILE=
"C:\irene\incendio_moratalla\estadistica\variablesSAS.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
     RANGE="arbolesparcela$";
     GETNAMES=YES;
     MIXED=NO;
     SCANTEXT=YES;
     USEDATE=YES;
     SCANTIME=YES;
RUN;

data arbolesparcela;
set Arbolesparcela;
dbasal2 = sqrt(DBASAL);
h2 = sqrt(H);
run;

proc glm data=Arbolesparcela;
class year exp;
model dbasal2 = year exp year*exp;
lsmeans year exp year*exp/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;

proc glm data=Arbolesparcela;
class year exp;
model h2 = year exp year*exp;
lsmeans year exp year*exp/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;
```

2. *Tamaño: ANCOVA*

```
PROC IMPORT OUT= MASTER.arbolesapeados
            DATAFILE=
"C:\irene\incendio_moratalla\estadistica\variablesSAS.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
     RANGE="apeados$";
     GETNAMES=YES;
     MIXED=NO;
     SCANTEXT=YES;
     USEDATE=YES;
     SCANTIME=YES;
RUN;

data arbolesapeados;
set Arbolesapeados;
dbasal2 = sqrt(DBASAL);
h2 = sqrt(H);
run;

proc glm data=Arbolesapeados;
class year exp;
model dbasal2 = year exp year*exp crecprev;
lsmeans year exp year*exp/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;
```

```
proc glm data=Arbolesapeados;
class year exp;
model h2 = year exp year*exp crecprev;
lsmeans year exp year*exp/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;
```

3. Potencial reproductivo: modelo mixto

```
PROC IMPORT OUT= WORK.conos
            DATAFILE=
"C:\irene\incendio_moratalla\ESTADISTICA\conos\conos_mixed.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
     RANGE="conos por parcela$";
     GETNAMES=YES;
     MIXED=NO;
     SCANTEXT=YES;
     USEDATE=YES;
     SCANTIME=YES;
RUN;

ods graphics on;
data conos;
set conos;
cantidad2=log(1+cantidad);
run;

proc mixed data=conos;
      class tipo time exp;
      model cantidad2 = tipo|time|exp/ outpm=conos2 residual;
      repeated tipo/ subject=plot group=exp type=csh;
      lsmeans tipo|time|exp / cl pdiff om bylevel;
run;
proc univariate data=conos2 normal;
var studentresid;
run;
ods graphics off;
run;
```

4. Biomasa: ANCOVA

```
PROC IMPORT OUT= MASTER.arbolesapeados
            DATAFILE=
"C:\irene\incendio_moratalla\estadistica\variablesSAS.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
     RANGE="apeados$";
     GETNAMES=YES;
     MIXED=NO;
     SCANTEXT=YES;
     USEDATE=YES;
     SCANTIME=YES;
RUN;

data arbolesapeados;
set Arbolesapeados;
biomasa2 = sqrt(biomasa);
run;

proc glm data=Arbolesapeados;
class year exp;
```

```
model biomasa2 = year exp year*exp crecprev;
lsmeans year exp year*exp/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;
```

5. *Crecimiento anual: ANCOVA*

```
PROC IMPORT OUT= MASTER.crec3cov
            DATAFILE=
"C:\irene\incendio_moratalla\ESTADISTICA\crec2covariablesSAS.xls"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
     RANGE="comparaciones$";
     GETNAMES=YES;
     MIXED=NO;
     SCANTEXT=YES;
     USEDATE=YES;
     SCANTIME=YES;
RUN;

data crec2cov;
set crec2cov;
crec2 = sqrt(crec);
run;

proc glm data=crec2cov;
class time exp;
model crec2 = time exp time*exp crecprev prec;
lsmeans exp time exp*time/ cl stderr pdiff om bylevel;
run;
```

ANEXO 3. TABLAS DE RESULTADOS

	Tiempo desde el tratamiento											
Exposición	0		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	2.478 (0.092) [2.297-2.659]	AB	2.078 (0.108) [1.866-2.291]	CD	2.164 (0.134) [1.901-2.427]	BCD	2.029 (0.108) [1.817-2.242]	D	2.723 (0.092) [2.542-2.904]	A	2.346 (0.046) [2.255-2.438]	a
Umbría	1.306 (0.093) [1.122-1.489]	E	-		1.858 (0.117) [1.626-2.089]	D	2.366 (0.099) [2.171-2.561]	BC	2.421 (0.090) [2.243-2.599]	B	1.996 (0.049) [1.899-2.093]	b
Promediando exposición	1.900 (0.065) [1.772-2.029]	C	2.078 (0.108) [1.866-2.291]	BC	1.991 (0.088) [1.817-2.165]	BC	2.213 (0.073) [2.069-2.356]	B	2.570 (0.064) [2.443-2.697]	A		

Tabla 1. Diámetro basal considerando todos los árboles: LSmeans (cm), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

	Tiempo desde el tratamiento											
Exposición	0		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	1.353 (0.046) [1.261-1.444]	BC	1.269 (0.054) [1.162-1.377]	DC	1.218 (0.067) [1.085-1.351]	DC	1.255 (0.054) [1.147-1.362]	DC	1.412 (0.046) [1.321-1.504]	B	1,318 (0,023) [1,272-1,364]	b
Umbría	1.216 (0.047) [1.123-1.309]	D			1.204 (0.059) [1.087-1.321]	DC	1.472 (0.050) [1.374-1.571]	B	1.668 (0.046) [1.577-1.759]	A	1,411 (0,025) [1,362-1,460	a
Promediando exposición	1,285 (0,033) [1,220-1,350]	BC	1,269 (0,054) [1,162-1,377]	BC	1,210 (0,044) [1,122-1,298]	C	1,373 (0,037) [1,300-1,445]	B	1,540 (0,033) [1,477-1,607]	A		

Tabla 2. Altura considerando todos los árboles: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

Exposición	Tiempo desde el tratamiento											
	0		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	2.401 (0.143) [2.117-2.686]	AC	2.302 (0.095) [2.112-2.491]	BC	2.282 (0.095) [2.092-2.471]	BC	2.246 (0.095) [2.056-2.436]	C	2.590 (0.095) [2.401-2.780]	A	2.360 (0.045) [2.270-2.450]	-
Umbría	1.265 (0.082) [1.101-1.430]	D			2.066 (0.095) [1.876-2.255]	C	2.520 (0.095) [2.331-2.710]	AB	2.442 (0.095) [2.252-2.632]	AB	2.011 (0.046) [1.920-2.102]	-
Promediando exposición	1.549 (0.071)	C	2.302 (0.095)	AB	2.174 (0.067)	B	2.383 (0,067)	A	2.516 (0.067)	A		

Tabla 3. Diámetro basal considerando los árboles apeados: LSmeans (cm), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05); - factor no significativo en el análisis

Exposición	Tiempo desde el tratamiento											
	0		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	1.409 (0.093) [1.223-1.595]	-	1.250 (0.062) [1.126-1.374]	-	1.293 (0.062) [1.169-1.417]	-	1.299 (0.062) [1.175-1.423]	-	1.403 (0.062) [1.279-1.527]	-	1.321 (0.029) [1.262-1.380]	b
Umbría	1.218 (0.054) [1.110-1.325]	-			1.287 (0.062) [1.162-1.411]	-	1.548 (0.062) [1.424-1.672]	-	1.671 (0.062) [1.547-1.795]	-	1.415 (0.030) [1.355-1.474]	a
Promediando exposición	1.266 (0.047) [1.172-1.359]	B	1.250 (0.062) [1.126-1.374]	B	1.290 (0.044) [1.202-1.378]	B	1.424 (0.044) [1.336-1.512]	A	1.537 (0.044) [1.449-1.625]	A		

Tabla 4. Altura considerando los árboles apeados: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05); - factor no significativo en el análisis.

Tipo de cono	Tiempo desde el tratamiento										Promediando tiempo y exposición	
	0		2		3		4		5			
Nuevo	2,1521 (0,2186) [1,7104-2,5938]	E	4,1559 (0,2932) [3,5633-4,7486]	A	3,3406 (0,2524) [2,8306-2,8507]	CD	2,4248 (0,2524) [1,9147-2,9348]	E	4,1216 (0,2524) [3,6116-4,6317]	AB	3,0692 (0,1128) [2,8411-3,2973]	a
Maduro	1,5739 (0,2739) [1,0203-2,1275]	F	0,3662 (0,4297) [-0,5023-1,2347]	G	0,8762 (0,3163) [0,2370-1,5155]	FG	3,6828 (0,3163) [3,0435-4,3220]	ABC	4,2583 (0,3163) [3,6191-4,8976]	AB	2,2963 (0,1433) [2,0067-2,5859]	b
serotino	1,2204 (0,2455) [0,7243-1,7166]	FG	0,4621 (0,4257) [-0,3982-1,3224]	G	1,0114 (0,2835) [0,4385-1,5843]	FG	0,8762 (0,2835) [0,3033-1,4492]	FG	2,7360 (0,2835) [2,1631-3,3090]	DE	1,3411 (0,1298) [1.0788-1,6034]	c
Prom. tipo y exposición	1,6488 (0,1893) [1,2540-2,0437]	C	1,6614 (0,2568) [1,1258-2,1971]	BC	1,7428 (0,2186) [1,2868-2,1987]	BC	2,3279 (0,2186) [1,8720-2,7839]	B	3,7053 (0,2186) [3,2494-4,1613]	A		

Tabla 5. Potencial reproductivo en número de conos: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

Exposición	Tiempo desde el tratamiento										Promediando tiempo y tipo	
	0		2		3		4		5			
Solana	2,6882 (0,2224) [2,2243-3,1521]	BC	1,6614 (0,2568) [1,1258-2,1971]	DE	2,2226 (0,2568) [1,6869-2,7582]	CD	1,8178 (0,2568) [1,2821-2,3534]	DE	4,1378 (0,2568) [3,6022-4,6735]	A	2,5170 (0,1112) [2,2850-2,7489]	a
Umbría	0,6094 (0,3064) [-0,02968-1,2486]	F			1,2630 (0,3538) [0,5250-2,0010]	EF	2,8381 (0,3538) [2,1001-3,5761]	BC	3,2728 (0,3538) [2,5348-4,0108]	A	1,8892 (0,1700) [1,5347-2,2437]	b
Prom. exp. y tipo	1,6488 (0,1893) [1,2540-2,0437]	C	1,6614 (0,2568) [1,1258-2,1971]	BC	1,7428 (0,2186) [1,2868-2,1987]	BC	2,3279 (0,2186) [1,8720-2,7839]	B	3,7053 (0,2186) [3,2494-4,1613]	A		

Tabla 6. Potencial reproductivo en número de conos: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

		Tiempo desde el tratamiento									
tipo	exp	0		2		3		4		5	
N	S	3,7285 (0,2540) [3,2152-4,2418]	BC	4,1559 (0,2932) [3,5633-4,7486]	AC	3,9517 (0,2932) [3,3590-4,5444]	AC	1,4769 (0,2932) [0,8843-2,0696]	FG	4,4555 (0,2932) [3,8628-5,0482]	AB
	U	0,5756 (0,3558) [-0,1434-1,2947]	HJ			2,7296 (0,4108) [1,8993-3,5599]	DE	3,3726 (0,4108) [2,5423-4,2029]	CD	3,7878 (0,4108) [2,9575-4,6180]	BCD
M	S	2,1698 (0,3722) [1,4177-2,9220]	EF	0,3662 (0,4297) [-0,5023-1,2347]	IJ	1,2904 (04297) [0,4219-2,1589]	FGJ	3,3792 (0,4297) [2,5106-4,2477]	CD	4,5994 (0,4297) [3,7309-4,4679]	A
	U	0,9780 (0,4020) [0,1655-1,7905]	GHI			0,4621 (0,4642) [-0,4761-1,4003]	HJ	3,9864 (0,4642) [3,0482-4,9245]	AC	3,9173 (0,4642) [2,9791-4,8554]	ACD
S	S	2,1662 (0,3686) [1,4212-2,9113]	EF	0,4621 (0,4257) [-0,3982-1,3224]	HJ	1,4256 (0,4257) [0,5653-2,2858]	FGI	0,5973 (0,4257) [-0,2630-1,4575]	HJ	3,3586 (0,4257) [2,4983-4,2189]	CD
	U	0,2747 (0,3243) [-0,3809-0,9302]	J			0,5973 (0,3745) [-0,1597-1,3542]	HJ	1,1552 (0,3745) [0,3983-1,9122]	FGJ	2,1135 (0,3745) [1,3565-2,8704]	EF

Tabla 7. Potencial reproductivo en número de conos: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

	Tiempo desde el tratamiento														
Exposición	0		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	0.277 (0.045) [0.188-0.367]	-	0.209 (0.030) [0.149-0.269]	-	0.267 (0.030) [0.207-0.327]	-	0.245 (0.030) [0.185-0.305]	-	0.362 (0.030) [0.303-0.422]	-	0,272 (0,014) [0.243-0,300]	a
Umbría	0.124 (0.026) [0.072-0.176]	-			0.207 (0.030) [0.148-0.267]	-	0.383 (0.030) [0.323-0.442]	-	0.373 (0.030) [0.314-0.433]	-	0,260 (0,014) [0,232-0,289]	a
Promediando exposición	0,162 (0,022) [0,117-0,207]	C	0,209 (0,030) [0,150-0,269]	BC	0,237 (0,021) [0,195-0,279]	B	0,314 (0,021) [0,271-0,356]	A	0,368 (0,021) [0,326-0,410]	A		

Tabla 8. Biomasa: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)

Exp.	Tiempo desde el tratamiento 0		1		2		3		4		5		Promediando tiempo	
Solana	1.489 (0.095) [1.302-1.676]	D	1.177 (0.071) [1.038-1.317]	E	1.604 (0.071) [1.464-1.743]	D	1.858 (0.082) [1.697-2.029]	AC	1.925 (0.100) [1.728-2.122]	AB	1.729 (0.142) [1.450-2.008]	AD	1.557 (0.035) [1.508-1.646]	-
Umbría	0.890 (0.055) [0.782-0.998]	F	1.091 (0.082) [0.930-1.252]	E	1.692 (0.082) [1.531-1.853]	BCD	1.994 (0.082) [1.833-2.155]	A	2.005 (0.100) [1.808-2.203]	A	1.570 (0.142) [1.291-1.849]	CD	1.385 (0.033) [1.320-1.449]	-
Prom. exp	1,040 (0,047) [0,947-1,133]	C	1,140 (0,053) [1,035-1,246]	C	1,642 (0,053) [1,536-1,747]	B	1,926 (0,058) [1,812-2,039]	A	1,965 (0,071) [1,826-2,105]	A	1,650 (0,100) [1,452-1,847]	B		

Tabla 9. Crecimiento anual: LSmeans (m), error estándar (entre paréntesis) e intervalo de confianza al 95% (entre corchetes). Comparaciones: letras iguales indican que no existen diferencias significativas (P>0,05)