



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Evaluación de la restauración forestal durante el periodo 2017-19 en los montes de "La Zoma" (Teruel), afectados por un incendio forestal

Autor

**Raúl Deoiz Lanzán**

Directores

**José Manuel Nicolau Ibarra**

**Ramón Reine Viñales**

Escuela Politécnica Superior de Huesca

2019

## Agradecimientos

En primer lugar querría agradecer a mi familia el apoyo de todo tipo brindado, ya no solo en la realización de este trabajo, sino en todo el transcurso del grado, en especial a mi padre José María y a mi hermana Nuria. Sin vosotros nada en mi vida tendría sentido.

En segundo lugar agradecer a mis amigos que con su apoyo e incredulidad habéis conseguido motivarme hasta llegar a la redacción de este trabajo. Gracias por estar siempre ahí.

Agradecer también a Enrique Gimeno, compañero durante el trabajo de campo y con el que compartí inclemencias, dificultades y muchas risas. No habría sido lo mismo sin ti.

Agradecer a José Manuel Nicolau y a Ramón Reine, los tutores del presente trabajo, por los conocimientos enseñados y el tiempo dedicado en ayudarme en la realización de este trabajo.

Agradecer a todas las personas que en mayor o en menor medida han aportado su ayuda en la creación de este trabajo: Alfredo Sisamón, Pablo Martínez, Etsain Francisco García, Eider Otsoa, Pablo Guillen y Olaia Ustarroz. Sin vuestra ayuda no habría sido posible.

Finalmente y no por ello menos importante, sino al contrario, dedicárselo a esas cinco personas que ya no están conmigo, las cuales recuerdo todos los días y sé que me apoyan y ayudan desde donde estén. En especial para mi madre María Pilar Lanzán, espero que estés orgullosa de mí.

## Resumen

Los incendios son una perturbación común con la que las especies vegetales del clima mediterráneo se han enfrentado y han evolucionado. En la actualidad, después de este tipo de situaciones, para que los ecosistemas vuelvan a alcanzar la complejidad que tenían anteriormente en la mayor brevedad de tiempo posible, deben ser sometidos a un proceso de restauración ecológica. En el término de La Zoma, Teruel, está siendo restaurada un área afectada por el incendio forestal que acabo con 1.230 ha de terreno. El proyecto fue impulsado por la empresa Aquabona que pertenece a la multinacional Coca-Cola y ayudado por la fundación Ecología y Desarrollo, la DGA y la universidad de Zaragoza. El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido evaluar la supervivencia del rodal 11 durante el primer periodo estival y tras dos años después de su plantación. El estudio de supervivencia se ha realizado teniendo en cuenta las tres especies con las que se ha restaurado el rodal (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Acer monspessulanum*), con una parcelación de unidades ambientales, haciendo referencia a la altura y a las zonas con capacidad de transportar agua, nutrientes y sedimentos. Además se ha evaluado el nivel de afección del rodal por la fauna herbívora salvaje y el proceso de senescencia vegetal. Los resultados obtenidos son que el rodal tiene una supervivencia postestival de un 86% y tras los dos primeros años de un 65%. La especie que mejor se ha adaptado al entorno es *Quercus ilex* con una tasa de supervivencia del 75%. Las unidades que se encuentran en las zonas alta del rodal tienen mayores tasas de supervivencia mientras que no se han encontrado diferencias significativas de supervivencia entre las unidades según su capacidad ecohidrológica. En cuanto a La senescencia parece tener una tendencia hacia su disminución pero deberá ser estudiada durante más años para tener unas conclusiones definitivas. Por último, *Acer monspessulanum* es la especie que más se ve afectada por la fauna herbívora acentuándose después del periodo estival.

## Palabras clave

Supervivencia – Mediterráneo – Repoblación – Ramoneo – Unidades ambientales

## Abstract

Fires are a common disturbance which the plant species of the Mediterranean climate have faced and with which have evolved. Currently, after this type of situation, in order the ecosystem to return to reach the complexity that they had previously in the shortest possible time, they must undergo an ecological restoration process. In La Zoma, Teruel, an area affected by the forest fire that ended with 1,230 ha of land is being restored. The project was promoted by the Aquabona company that belongs to the multinational Coca-Cola and helped by the Ecology and Development Foundation, the Aragón General Council (DGA) and the University of Zaragoza. The main goal of this Final Degree Project was to evaluate the survival of stand number 11 during the first summer period and after two years after its planting. The survival study has been carried out taking into account the three species with which the stand has been restored (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Acer monspessulanum*), with a division of environmental units, referring to the height and areas with the capacity to transport water, nutrients and sediments. In addition, the level of involvement of the stand by wild herbivorous and the process of plant senescence has been evaluated as well. The results obtained are that the stand has an after summer survival of 86% and after the first two years of 65%. The species that has best adapted to the environment is *Quercus ilex* with a survival rate of 75%. The units that are in the upper areas of the stand have higher survival rates while there are no significant differences in survival between the units according to its ecohydrological capacity. Regarding senescence, it seems to have a tendency towards its decrease but it must be studied for more years to have definitive conclusions. Finally, *Acer monspessulanum* is the species that is mostly affected by the herbivorous wildlife accentuated after the summer period.

## Key words

Survival – Mediterranean – Repopulation – Browsing – Environmental units

## Índice

Agradecimientos .....	2
Resumen .....	3
Palabras clave.....	3
Abstract.....	4
Key words.....	4
<b>1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Los incendios forestales y sus efectos.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Los incendios forestales en España .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Los principios de la restauración ecológica .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Incendio de Aliaga-Ejulve y proyecto Plantando Agua.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Antecedentes.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Material y Métodos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Descripción del área de estudio .....</b>	<b>20</b>
2.1.1. Localización Geográfica.....	20
2.1.2. Climatología .....	20
2.1.3. Geología .....	21
2.1.4. Edafología.....	22
2.1.5. Vegetación .....	22
<b>2.2. Descripción de la toma de muestras .....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Fechas del muestreo.....	24
2.2.2. Estratificación del muestreo .....	25
2.2.3. Parcelación y seguimiento .....	27
<b>2.3. Tratamiento de los datos y análisis estadístico.....</b>	<b>30</b>
<b>3. Resultados .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Supervivencia del rodal .....</b>	<b>31</b>
3.1.1. Supervivencia según unidad ambiental .....	32
3.1.2. Supervivencia según zonas exportadoras/importadoras .....	35
3.1.3. Supervivencia dependiendo de la altitud .....	38
<b>3.2. Senescencia .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. Afección de la fauna herbívora.....</b>	<b>44</b>
<b>4. Discusión .....</b>	<b>50</b>
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>60</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>62</b>
<b>7. Anejos.....</b>	<b>68</b>
<b>7.1. Anejo I: Resultados de supervivencia .....</b>	<b>68</b>
<b>7.2. Anejo II: Resultados de Senescencia .....</b>	<b>76</b>
<b>7.3. Anejo III: Resultados del Ramoneo .....</b>	<b>79</b>
<b>7.4. Anejo IV: Resultados climáticos .....</b>	<b>82</b>
<b>7.5. Anejo V: Imágenes .....</b>	<b>83</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Los incendios forestales y sus efectos

El fuego es un mecanismo auto-acelerado de oxidación que tiene como resultado directo un proceso de liberación de energía, de gases (nitrógeno, anhídrico carbónico) y de nutrientes en forma de cenizas (Velez, 2000). Las llamas se producen debido a un proceso químico llamado pirolisis por el que el combustible es convertido en residuos carbonosos y en vapores que se mezclan con el oxígeno del aire al traspasar la superficie del combustible (Pérez, 2002).

Las plantas y el fuego mantienen una estrecha relación desde sus orígenes, ya que proporcionan los elementos esenciales, oxígeno y combustible para la formación del segundo (Pausas2000.) Debido a la correlación que mantienen desde hace más de 400 millones de años las plantas han sabido adaptarse a la actuación del fuego, o más bien, las plantas han sabido adaptarse a un régimen de incendios determinado. (Bodí et al., 2012).

Existen principalmente dos tipos de incendios, los incendios de copa, donde toda la parte aérea del bosque acaba calcinada, típico de los bosques mediterráneos y los incendios de superficie, que suelen darse en bosques abiertos, incendios con poca intensidad, donde el fuego afecta principalmente al sotobosque y donde los árboles que dominan tienen una corteza muy gruesa (Pérez 2002).

La naturaleza de los incendios proviene de factores abióticos como la precipitación, la temperatura, la intensidad del viento, la actividad de los herbívoros, ya que son los grandes competidores con el fuego por el mismo recurso planta; y por último del factor antrópico, puesto que el ser humano ha alterado la estructura de la vegetación y el número de igniciones desde que supo domesticar el fuego (Pausas 2010).

Debido a estos factores existen ecosistemas más propensos a la aparición de incendios. El ecosistema mediterráneo, dentro del cual esta nuestra área de estudio, tiene la cualidad de coincidir la época seca con la cálida, haciendo que sea uno de los más propensos y adaptados a los regímenes de incendios. Las plantas de este ecosistema han ido evolucionando dando lugar a ciertos mecanismos de respuesta al fuego. Este tipo de mecanismos no hace que las plantas sean inmunes al paso del fuego, si no que si el tiempo entre las perturbaciones es el adecuado, las especies sean capaces de mantenerse en la zona. (Pausas, 2010).

Existen dos mecanismos principales de respuesta de vegetación al fuego: el rebrote y la capacidad de reclutar nuevos individuos. La capacidad de rebrote permite a la planta

resurgir desde la raíz y/o el tallo. Esto no solo sucede en zonas donde son frecuentes los incendios, sino que también existe en plantas de otros ecosistemas donde la problemática puede ser el ramoneo de la fauna herbívora o vendavales. La capacidad de reclutar individuos, se da cuando las plantas tienen, ya sea en la copa o en el suelo, bancos de semillas resistentes al calor. La capacidad de reclutar, en buenas condiciones puede incluso aumentar el nivel poblacional de los individuos, (Pausas, 2010). Otro tipo de mecanismo es el de resistencia pasiva al fuego, que se basan en soportar pequeños incendios sin morir gracias a hojas con gran cantidad de agua y cortezas muy gruesas capaces de aislar al individuo (Arenas, 2017). También hay que mencionar que hay especies que carecen de estrategias y desaparecen después de los incendios, aunque comienzan a recolonizar por los extremos del incendio (Pausas, 2004).

El fuego no sólo debe ser visto como un gran herbívoro; es un agente fundamental en los procesos de sedimentación como demuestra el caso del Carbonífero (incendios recurrentes que facilitaron la acumulación de grandes depósitos de carbón), y por lo tanto en el ciclo geológico de las rocas (Mataix-Solera, 2009). Así, el fuego también debe de ser entendido como uno de los procesos planetarios clave, que ha condicionado la evolución y la dispersión de plantas y el desarrollo de los biomas, la formación de suelos y los ciclos hidrológico y erosivo (Mataix-Solera, 2009).

El suelo tras un incendio puede tener cambios directos por la combustión y el calentamiento, además de indirectos por la pérdida de cubierta vegetal y el recubrimiento de las cenizas. La intensidad de estos efectos dependerá por la temperatura alcanzada por el fuego (Bodí et al, 2012).

El calentamiento del suelo produce que el pH y la conductividad aumenten. El aumento de cenizas hace que el suelo se enriquezca con cationes como Ca, K, P, Na y Mg, aunque también hace que algunos se volatilicen (Raison et al., 1984) o que se lixivien con más facilidad por la desaparición de la vegetación (Cerdà y Bodí, 2007). El carbono orgánico del suelo también varía dependiendo de la intensidad del incendio, en los de baja intensidad el C orgánico aumenta, procedente de la vegetación parcialmente pirolizada, sin embargo a altas intensidades puede disminuir (Mataix-Solera et al., 2002).

La estabilidad de los agregados también se ve afectada de igual manera que el carbono orgánico, esto es debido a que la estabilidad tiene una relación directa con la cantidad y calidad de la materia orgánica (Badia y Martí, 2003; Cerdà, 1993). La porosidad y la capacidad

hídrica también se puede ver diezmada al cambiar la estructura del suelo y su cantidad de materia orgánica por la elevada temperatura del fuego (Neary et al., 1999).

La hidrofobicidad se ve afectada en aumento o por lo contrario en descenso, dependiendo de la temperatura alcanzada por el fuego. Si la temperatura alcanzada por el fuego es entre 200-250°C la provoca o la aumenta y si es mayor de 300°C la destruye (DeBano, 1981). Esto se debe a la existencia de sustancias orgánicas que se volatilizan durante la combustión y se condensan posteriormente (Doerr et al., 2000).

Los efectos indirectos en los suelos después del incendio se producen por la pérdida de la cubierta vegetal, el ennegrecimiento del suelo y la adición de cenizas que provocan efectos tanto positivos, (menos competencia, más luz, más nutrientes) como en detrimento (mayor erosión, menos infiltración) del ecosistema (Neary et al., 1999). Además los impactos de un incendio pueden tener consecuencias y tiempos de regeneración natural diferentes por factores exteriores como la topografía o la estación del año en la que se produce, (Badia et al 2018)

## **1.2. Los incendios forestales en España**

La ocurrencia de los incendios forestales se suele caracterizar por su régimen. El régimen de incendios viene definido por diversas variables como son frecuencia, afección, severidad, etc. A su vez el régimen de incendios depende principalmente de tres factores condicionantes: El clima, combustibles y fuentes de ignición. (López y López, 2015).

El clima es un factor determinante en primer lugar por condicionar la tipología de vegetación y por lo tanto el tipo de combustible. Si se estudia el clima en intervalos de tiempo más pequeño, el clima es capaz de fomentar la inflamabilidad del entorno. Los casos más comunes serían sequías, olas de calor y temperaturas anómalas. (López y López, 2015).

Las fuentes de ignición son determinantes para el régimen de incendios. Existen diversas fuentes de ignición (**Figura 1**). Aunque pueden aparecer de manera natural, el ser humano es condicionante tanto por favorecer la inflamación directa o indirecta de la vegetación, como por modificar los factores de propagación del fuego al alterar el medio. (López y López, 2015).

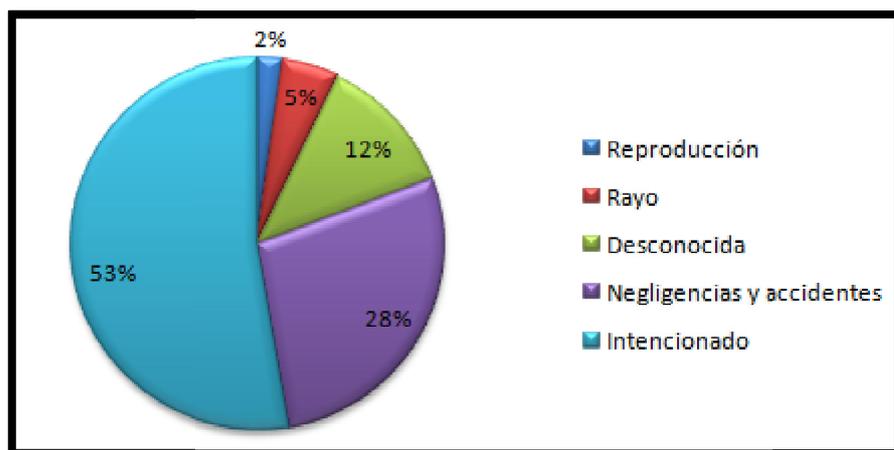


Figura 1. Causas de los incendios en el decenio 2006-2015 en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Dada la variabilidad a lo largo del tiempo de los factores mencionados, conlleva a que la evolución interanual de los números de siniestros y superficies afectadas presenten grandes variaciones.

Figura 2 muestra la evolución del número de siniestros en el periodo comprendido entre 1968 y 2015. Se observa una evolución creciente en las primeras décadas, con cierta estabilización a partir de los años noventa y evidentes signos de decrecimiento en la última década. Los valores mínimos de ocurrencia se producen en 1971 (1.665 siniestros), produciéndose un incremento progresivo hasta alcanzarse el máximo en 1996, con 25.557 siniestros, cifra similar a la alcanzada en 2005, con 25.492 siniestros. A partir de este año se aprecia un descenso acusado, con una reducción en los valores máximos que llega al 36%, hasta situarse en 11.810 siniestros en el último año de la serie; este valor no se alcanzaba desde inicios de los años 80 (López y López, 2015).

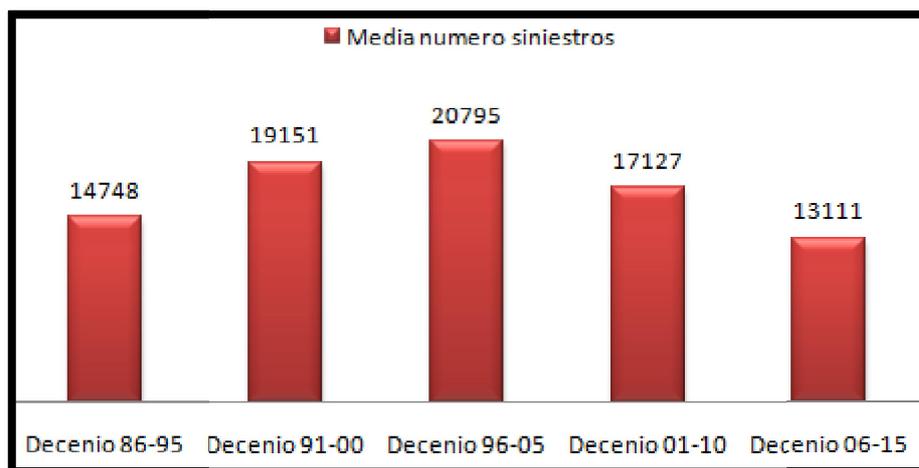


Figura 2. Media del número de incendios en cada decenio desde el 1986 al 2015 en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

El análisis de las superficies afectadas revela una evolución similar (Figura 3), aunque con un aumento más marcado, mayor variabilidad interanual y un descenso más temprano. La tendencia es creciente hasta mediados de los años 80, con una superficie máxima alcanzada en la serie de 484.475,20 ha en 1985, cifra similar a la de 1978, 1989 y 1994, años con más de 400.000 hectáreas quemadas (1994 destacó también por ser el de mayor superficie arbolada afectada, con 250.422,80 ha). A partir de 1994 se produce un notable descenso, hasta situarse en cifras ligeramente superiores a las 100.000 ha en la última década, habiéndose alcanzado en 2014 el segundo valor más reducido de toda la serie con 48.717,83 ha. (López y López, 2015).

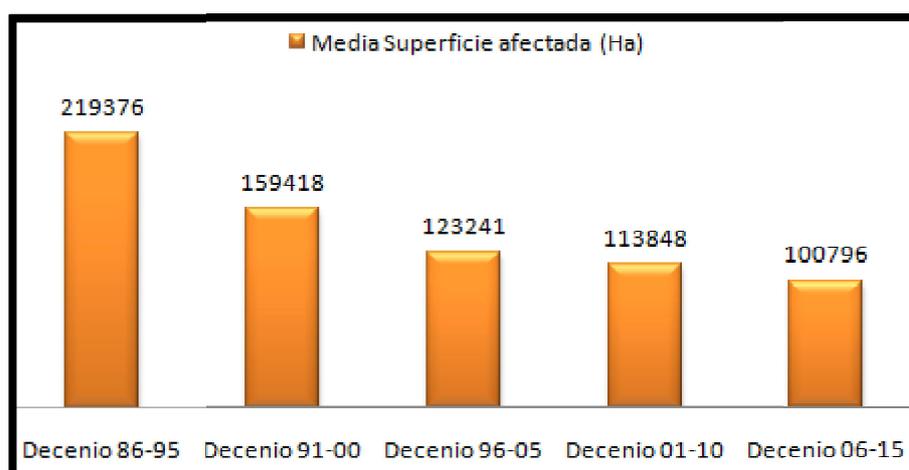


Figura 3. Media de Superficie afectada en cada decenio por incendios en hectáreas en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Este descenso marcado a partir de 1994 se ha venido explicando debido, en gran parte, a la implantación, desarrollo y mejora de la eficacia de los dispositivos de extinción de incendios forestales autonómicos. (López y López, 2015).

Los incendios forestales ocurridos durante el decenio 2006-2015 han afectado algo más de 320.277 ha arboladas, lo que supone casi un tercio del total de superficie incendiada. Sin embargo, estas cifras se reparten de forma desigual entre especies (Figura 4). (López y López, 2015).

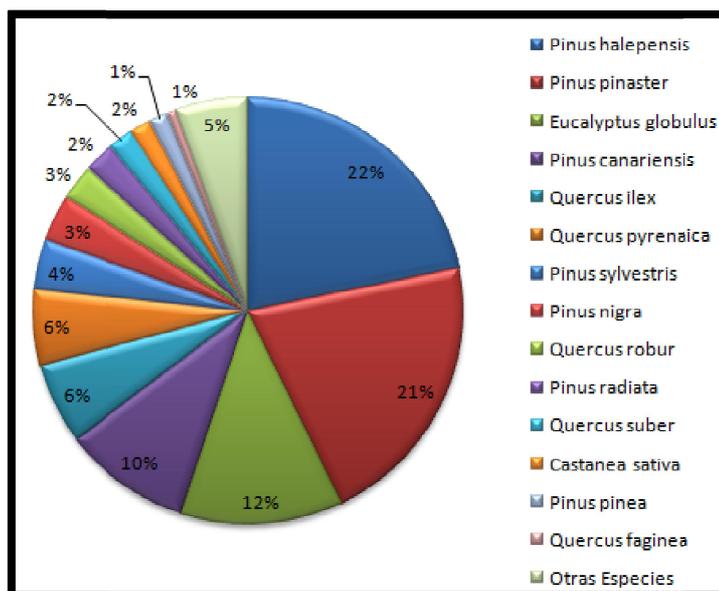


Figura 4. Especies forestales afectadas por incendios en el decenio 2006-2015 en España.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Otro aspecto a resaltar es que España cuenta con un clima mediterráneo muy propenso a la aparición reiterativa de incendios, como ya hemos mencionado anteriormente, pero que desde los años 60 hasta la actualidad se han producido una serie de cambios socioeconómicos que pueden hacer que los incendios que aparezcan sean de una gravedad mayor. Este cambio viene producido por el éxodo rural. Hace años la población hacía una “selvicultura preventiva contra incendios” de forma inconsciente y sin costo para la administración, ya que necesitaban la madera como fuente de energía. Además el sector primario, tanto la agricultura como la ganadería, eran las principales formas de vida, que mantenían controlado los terrenos de excesiva biomasa, que podría acabar siendo combustionada (Mataix-Solera y Cerdà, 2009).

En la actualidad todo lo anterior no sucede y nos dejan paisajes como el de la Figura 5 y la Figura AV 66. Permitiendo que cuando aparezca un incendio, se pueda propagar con

facilidad y tener una mayor severidad (Mataix-Solera y Cerdà, 2009). Esto se ve contrarrestado con las medidas de prevención, concienciación y extinción de incendios, mucho más avanzadas y mejoradas que en el pasado (López y López, 2015).



**Figura 5. Antigua parcela agraria en transformación a forestal por inactividad en el término municipal de Tabuena (Zaragoza). Fuente: Elaboración propia.**

## **1.1. Los principios de la restauración ecológica**

La restauración ecológica, representada en la **Figura 6** es el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004), más ampliamente, se podría decir que es el conjunto de acciones con una visión a largo plazo, mediante el cual se asiste, facilita o simula la sucesión natural (Cipollini et al., 2005), obteniendo más rápidamente la estructura y función del ecosistema (Barrera y Ríos, 2002), la biomasa, complejidad y determinación de las interacciones entre los organismos (Caribello, 2003).

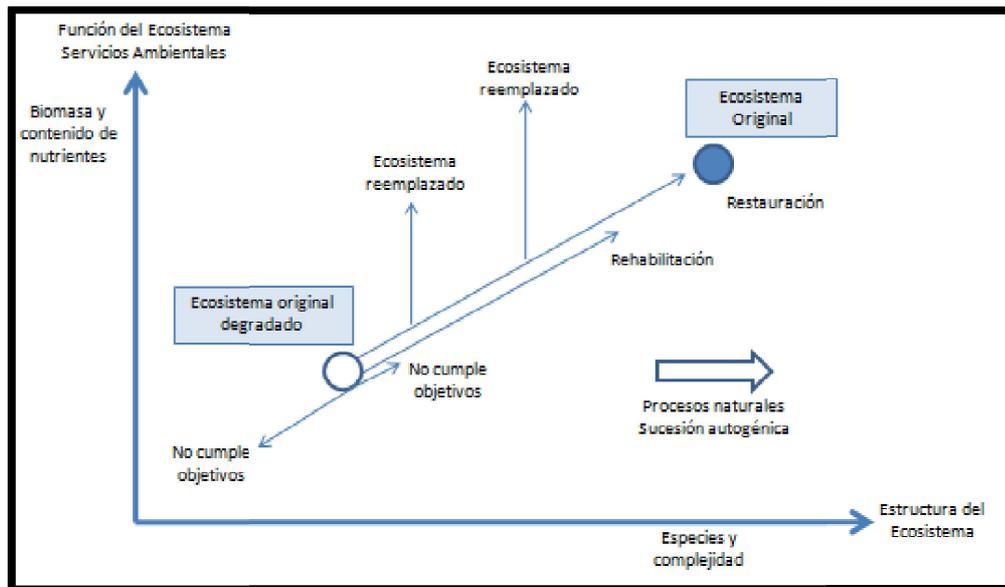


Figura 6. Representación gráfica del modelo conceptual de Restauración Ecológica según Bradshaw (1984). Fuente: Elaboración propia.

Los ecosistemas proporcionan servicios ambientales que se definen como funciones de la naturaleza que, aprovechadas por el ser humano, contribuyen a su bienestar (Figura 7). La degradación de ecosistemas conlleva a su vez una disminución de servicios ambientales que afecta al ser humano disminuyendo su calidad de vida. (Gimeno, 2018).

Los servicios ambientales son el principal objeto de atención por esta disciplina heterogénea. Los procesos que estudia y los enfoques que emplea, que abarcan un amplio rango de disciplinas: desde la ecología hasta la economía o etnología. (Espigares T. 2003).



Figura 7. Servicios ambientales de los ecosistemas y como afectan en la calidad de vida humana.

Una correcta restauración ecológica viene conformada por una serie de puntos que se deben considerar antes y durante el proceso. La escala o nivel al que se va a actuar y definir el ecosistema de referencia que se quiere obtener después de la restauración son imprescindibles. El ecosistema de referencia puede ser el original que existía antes de la perturbación, se puede basar en zonas remanentes que hayan escapado de los daños, en datos, fotos o relatos de cómo era, o también puede ser sustituido. Evaluar el estado del ecosistema actual es de vital importancia, para ello se comprobaran cuantos parches sobreviven, cual es su conectividad, estado del suelo, etc. (Vargas, 2011).

A partir de este punto hay que diferenciar entre restauración activa y pasiva. La restauración pasiva es el conjunto de acciones que eliminan o modifican los factores que limitan la recuperación natural de un ecosistema, (tales como corta, tala, caza, incendios intencionados, ganadería y pastoreo), que de alguna manera ayuden a facilitar la recuperación espontánea de los componentes biológicos y procesos ecológicos, a través del proceso de sucesión. (Jaksic y Fariña, 2015). Por otro lado, la restauración activa involucra acciones específicas que estimulen el desarrollo de la sucesión para lograr la restauración del ecosistema (Van Andel y Aronson, 2006).

Por último mencionar que se debe monitorear todo el proceso durante un largo periodo de tiempo (ITGE, 1989) e implicar siempre que se pueda a la sociedad afectada para crear un sentimiento de arraigo con el futuro ecosistema restaurado.

## 1.2. Incendio de Aliaga-Ejulve y proyecto Plantando Agua

Este estudio se ha centrado en la evaluación y seguimiento de una repoblación forestal en el municipio de La Zoma (Teruel), **Figura 8**, tras el incendio sucedido en Agosto de 2009 que calcinó más de 7300 ha. En concreto se ha estudiado la repoblación que se realizó en el rodal 11 con una extensión de 25 ha (**Figura 11** y **Figura 12**).

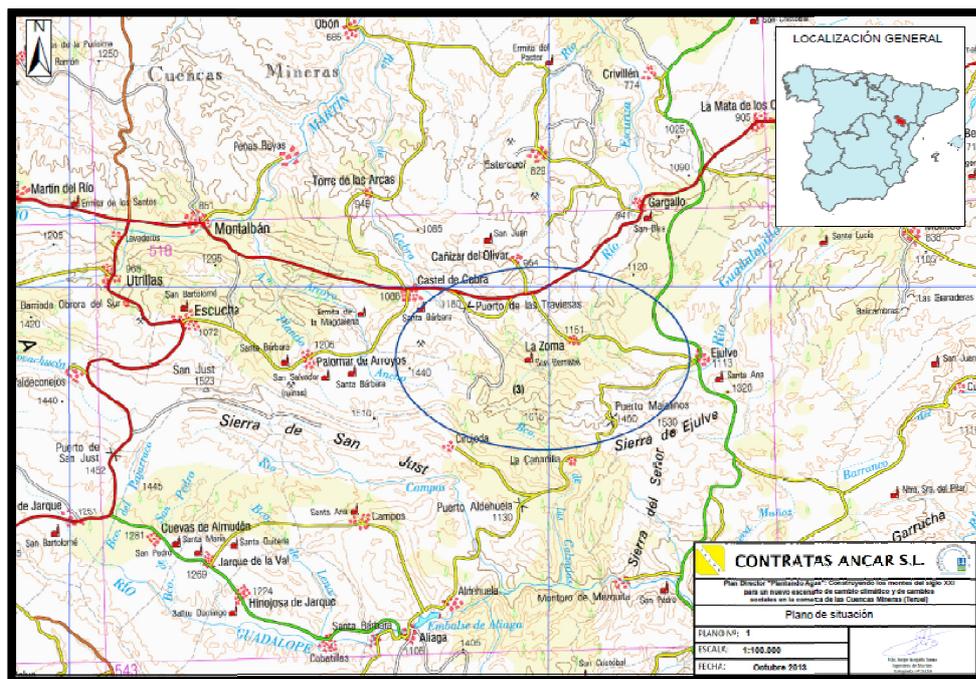


Figura 8. Situación geográfica de la zona de estudio.

Fuente: Contratas Ancar, 2013.

El inicio del incendio fue resultado de las altas temperaturas, con un viento proveniente del S-W y una humedad relativa muy baja a lo que se le sumó el paso de una tormenta eléctrica, que descargó varios rayos por la zona y desencadenó la catástrofe.

El incendio, según el estrato de vegetación calcinado, se podría clasificar como mixto, pues afectó en la mayoría de su superficie tanto a las copas como a la hojarasca y matorrales, aunque en algunas zonas se desarrolló únicamente por la superficie (Contratas Ancar, 2013).

Durante aquellos días de agosto de 2009, se quemaron en la provincia de Teruel más de 10.000 ha, de las cuales 7.300 pertenecen al incendio por el que se vio afectado el municipio de La Zoma. Además, se vieron afectados por este mismo incendio los municipios de Aliaga, Cañizar del Olivar, Castel de Cabra, Ejulve y Villarluengo.

Este sería el marco en el que nacería el proyecto: Plantando Agua -Construyendo los montes del Siglo XXI para un nuevo escenario de cambio climático y de cambios sociales en la comarca de las Cuencas Mineras (Teruel)-.

El proyecto ha estado financiado por The Coca-Cola Company que posee el manantial de agua de Fuenmayor, ubicado en el término municipal de Cañizar del Olivar, dentro del perímetro del incendio del que extrae agua por su empresa colaboradora Aquabona.

Aquabona se ofreció a financiar un proyecto social y respetuoso con el medio ambiente que fuera destinado para la población limítrofe al manantial. A esta iniciativa de proyecto se le unió la ayuda de la fundación ECOlogía y DESarrollo, la cual desarrollo unos talleres participativos, donde se llegó al consenso de que el capital debía ser invertido en la restauración de los montes calcinados. A todo esto hay que sumarle que la empresa The Coca-Cola Company tiene un proyecto a nivel internacional para “devolver a la naturaleza” el agua que se consume en la fabricación de sus productos, por lo que el proyecto debía ser respetuoso con el ciclo hídrico y promover el aumento de la calidad y cantidad de agua en la zona.

La universidad de Zaragoza coordino un Taller de Expertos en el que participaron científicos (Universidad de Zaragoza, Universidad de Barcelona, CSIC, técnicos de la DGA), empresarios, alcaldes y Agentes de Protección de la Naturaleza para diseñar la restauración de la zona. Se diseñó “un monte adaptado a los retos del siglo XXI” que pudiera hacer frente al cambio climático, futuros incendios forestales y la expansión a los ungulados. Además, se tendría en cuenta el efecto de la revegetación (pasiva y activa) sobre el ciclo de agua. Por otro lado, el proyecto busca revitalizar social y económicamente la comarca de Las Cuencas Mineras.

En esta línea se eligieron especies para la repoblación forestal que estuvieran adaptadas a la nueva climatología, que fuesen capaces de reaparecer fácilmente después de un incendio y con una densidad de plantación mucho menor que produzca menos consumo de agua verde y mayor salud de los individuos. Del conjunto del área de trabajo, se plantarán 320 ha, las cuales no producirán agua azul, sino verde para el consumo de la vegetación. El resto de la superficie (910 ha) no se plantará y se mantendrá despejada de vegetación arbórea mediante el pastoreo. La discontinuidad de la vegetación también disminuye el riesgo y la propagación de los incendios.

El proyecto se divide en tres principales fases (Contratas Ancar, 2013):

- Fase I, La repoblación forestal de los rodales 12, 13, 5, 7 y 10 de los Montes de Utilidad Pública (M.U.P.) de la Zoma. Son zonas con mejor aptitud a la repoblación en cuanto a la exposición, tipología y profundidad del suelo, y que a su vez tienen mayor riesgo de erosión y pérdida de suelo.
- Fase II, trabajos de ayuda a la regeneración natural del *Pinus Pinaster* en el rodal 6 del M.U.P. de La Zoma, repoblación forestal del rodal 11 del M.U.P. de la Zoma y los trabajos de limpieza de los pies quemados y ayuda a la regeneración y rebrote

de *Ilex aquafolium* en el rodal 24 de la finca particular de “La Mezquitilla” en el término municipal de Cañizar del Olivar.

- Fase III, trabajos de repoblación forestal de los rodales más desfavorables o de menor tamaño como el 8,9,14,15,16 y 18 de la M.U.P. de La Zoma. Además de los trabajos planificados del rodal 19 para mejora de pastos.

Durante todas las fases se realizarán unas actuaciones de mejora de accesos conforme sea necesario para la facilitación de los trabajos. Además, se realizará un seguimiento, monitoreo y evaluación de todas las fases para estudiar el comportamiento y evolución de todas ellas.

### 1.3. Antecedentes

El proyecto “Plantando Agua” ha servido para que otros investigadores realicen Trabajos de Fin de Grado en el término municipal de La Zoma. Un grupo de estudios se han basado en el seguimiento de diferentes rodales de repoblación forestal y la evaluación de la supervivencia y/o crecimiento basal de los pies que se obtiene en cada uno de ellos. Algunas de las conclusiones obtenidas fueron:

La supervivencia global de la plantación de 2014 en su primer año fue de un 72,7%. Las especies alcanzaron supervivencias medias-altas y sin diferencia entre las zonas exportadoras e importadoras de recursos, a excepción de *A. monspessulanum* que obtuvo supervivencias más altas en zonas importadoras (Edo, 2016).

La supervivencia global de la plantación 2015 en su primer año fue de un 78,4%. Las especies alcanzaron tasas de supervivencias altas y sin diferencias entre zonas exportadoras e importadoras de recursos. Únicamente una excepción con la especie *Pinus sylvestris* que obtuvo una tasa de supervivencia media y con ventajas en las zonas importadoras (Fernández, 2017).

La supervivencia global de las plantaciones de 2014 en sus dos primeros años y de 2015 en su primer año fue del 68%, superando todas las especies el 60% de supervivencia. *Quercus faginea* y *Quercus ilex* mostraron mayores tasas de supervivencia en zonas importadoras que en exportadoras de recursos (Herranz, 2017).

En la plantación de 2014 la mortalidad fue mayor el primer año, a pesar de que el segundo fue más seco, lo que se correspondería con el carácter crítico de la fase de establecimiento (Herranz, 2017).

Las medidas de crecimiento de altura y diámetro del tallo que se realizaron no mostraron tendencias debido al corto periodo de tiempo de crecimiento de los pies. (Edo, 2016 y Fernández, 2017).

La supervivencia global en el año 2017 de las plantaciones realizadas en 2014 y 2015 ha sido de un 65,46%, con una tasa de supervivencia superior en todas las plantaciones de zonas importadoras frente a las exportadoras. Las especies que más se benefician de su localización en zonas importadoras son *Pinus sylvestris* y *Quercus faginea* (Gimeno, 2018).

La supervivencia de los rodales situados a mayor altitud tuvieron una tasa de éxito menor y con diferencia estadísticamente significativa frente a los situados a menor altitud, los cuales, tienen más precipitaciones y temperaturas más suaves (Gimeno, 2018).

Por otro lado, existen los trabajos realizados por Víctor Pina Ara (Pina, 2017) y David Aguilar Ara (Aguilar, 2017), en los que se estudian los factores bióticos y abióticos decisivos para la regeneración natural en el área incendiada del *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster* respectivamente.

Finalmente, el trabajo realizado por Guillermo Enguita (Enguita, 2016) en el que se estudia los balances de agua verde y agua azul. Se concluye en el estudio que la modificación de una masa forestal en un área de especies herbáceas produce una disminución del consumo de agua verde, hecho que supone un aumento de la cantidad de agua azul presente en la zona.

#### 1.4. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es analizar la supervivencia de la repoblación del rodal 11 desde el año 2017 (año en el que se realizó la repoblación) hasta el año 2019 en el término municipal de La Zoma, Teruel.

Además se tendrán en cuenta otros objetivos específicos:

- Analizar la supervivencia en el periodo crítico estival del primer año de la repoblación.
- Evaluar la supervivencia en las diferentes unidades ambientales.
- Evaluar la respuesta de cada una de las especies utilizadas.
- Analizar el proceso de senescencia de los individuos de la población.
- Evaluar el efecto de la fauna herbívora sobre la repoblación forestal.

Cada uno de los objetivos será estudiado transversalmente con las siguientes características:

- La naturaleza de cada unidad ambiental
- La movilidad de nutrientes, agua y sedimentos en zonas importadoras y exportadoras, es decir, su capacidad ecohidrológica.
- La posición en la que se sitúa según la altitud, zonas altas y bajas.

## 2. Material y Métodos

### 2.1. Descripción del área de estudio

#### 2.1.1. Localización Geográfica

El área de estudio se encuentra en el municipio de La Zoma, en la provincia de Teruel, España (Figura 8). Dentro de la cuenca del río Guadalope en pleno Sistema Ibérico. De las 1.234 ha de las que se compone el proyecto Plantando Agua, la zona estudiada por este Trabajo de Fin de Grado se centra en las 25 ha, del rodal número 11 (Figura 11), plantado en los comienzos del año 2017, en las cercanías del núcleo urbano (Figura AV 76, Figura AV 73, Figura AV 77, Figura AV 78, Figura AV 79 y Figura AV 80).

#### 2.1.2. Climatología

El clima de la zona es submediterráneo continental frío, que domina toda el área central de la provincia de Teruel (Atlas Climatológico de Aragón, 1971-2000). Según los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas, Figura 9, más cercanas a la zona de estudio son la de la Mezquitilla, (1271m), Aliaga (1065m) y Majalinos (1632m) se caracteriza por una precipitación media anual entre 450 y 550 mm.

Dentro de las precipitaciones se hace especial mención al régimen de tormentas de la comarca entre los meses de abril a octubre, debido a su gran importancia como factor desencadenante de incendios forestales y de mitigación de la sequia del periodo estival (Peña et al, 2000).

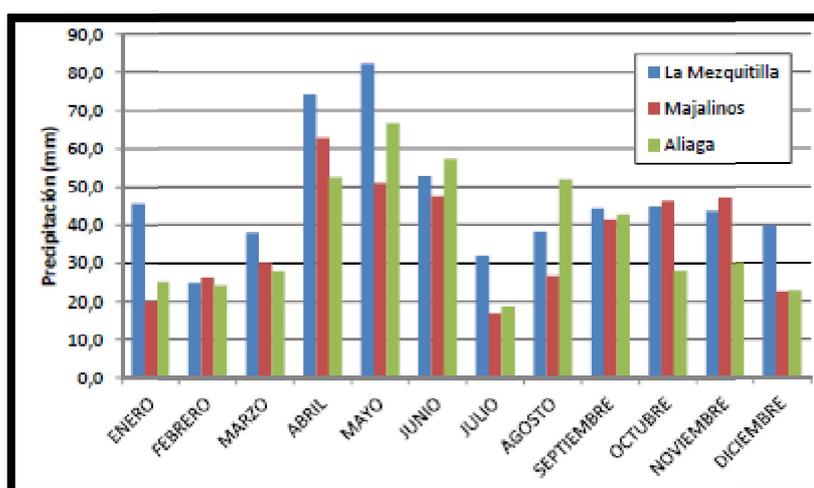
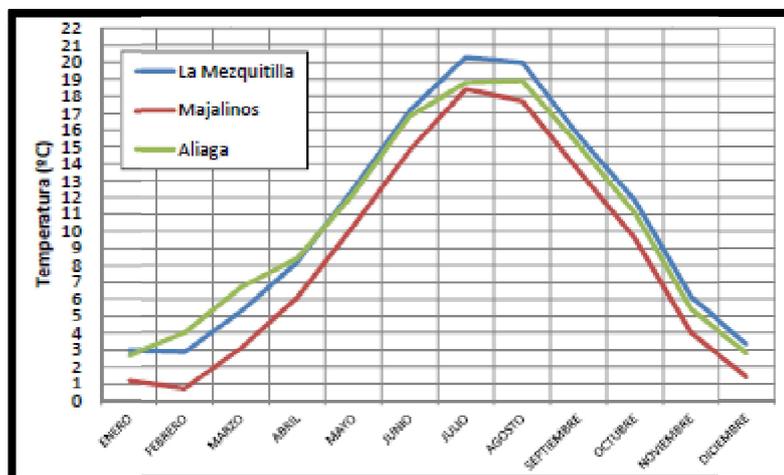


Figura 9. Régimen mensual medio de precipitaciones en las tres estaciones (1986-2013).

Fuente: Contratas ancar 2013.

En cuanto al régimen térmico, **Figura 10**, se caracteriza por presentar un periodo frío muy acusado. El periodo vegetativo, cuya temperatura media diaria es superior a 10°C, varía de 5 a 7 meses. Es frecuente los grandes contrastes de temperaturas entre el día y la noche y las heladas que se encuentran presentes prácticamente todo el año (Contratas Ancar, 2013).



**Figura 10. Temperaturas medias mensuales (1986-2013).**

**Fuente: Contratas Ancar, 2013.**

### **2.1.3. Geología**

La zona de estudio se localiza en el extremo oriental de la Cordillera Ibérica, lugar donde se corresponde con la parte septentrional del Macizo del Maestrazgo. (Simón J.L., et al, 2010). La edad de los materiales aflorantes abarca desde el Triásico Superior hasta el Mioceno (Gutierrez, 1985). Los materiales se estructuran en una serie de largos anticlinales y sinclinales, apretados en el límite septentrional, y más suaves y laxos en el resto.

La mayor parte de la superficie incendiada se asienta sobre materiales sedimentarios de reacción básica, aunque en determinadas localizaciones puede aflorar materiales sedimentarios de reacción ácida. Así, la mayor parte está dominada por litologías calizas, bien como roca caliza, bien asociada a dolomías o margas. En la zona central y septentrional del incendio afloran arcillas con yesos en las zonas basales y fondos de valle, mientras que en la parte suroccidental se pueden encontrar conglomerados y areniscas de reacción ácida, (Gargallo Saura, 2013).

El rodal tiene una altitud en su parte más baja de 1.200 metros y en la parte superior de 1.365 metros. La litología, según Gargallo Saura (2013), del rodal estudiado se puede encontrar en la parte situada en el sur y con mayor altura, Areniscas blanco amarillentas,

conglomerados y arcillas, en el resto del rodal y con una superficie notablemente mayor arniolas, brechas calco-dolomíticas y dolomías.

#### 2.1.4. Edafología

Los tipos de suelos reflejados en el Mapa de suelos de España (Guerra A., 1968) para el área de estudio son suelos pardo calizos sobre material consolidado o no, y con horizonte de humus poco desarrollado. De los criterios establecidos por Soil Taxonomy (U.S.D.A., 1985) a los suelos presentes en el proyecto pertenecen principalmente a los órdenes Inceptisols y Entisols. El Atlas Edafológico de España (1981) del I.G.M. recoge para la misma zona una asociación de los grupos Xerochrepts y de Xerorthents con inclusiones de Rhodoxeralf. Estos suelos corresponden a una profundidad y evolución que puede variar de poca a moderada.

Las características generales que se pueden extraer para los suelos del área del proyecto son las que se mencionan a continuación. En primer lugar, son de reacción fuertemente básica (pH entre 8 y 8,5), llegando incluso a ser en algunos casos extremadamente básica (pH $\geq$ 8,5). El contenido en caliza activa es moderado, encontrándose normalmente algo descarbonatado. Su textura predominante es franca, más arenosa en las litofacies más occidentales y más esporádicamente franco-arcillosa y franco-limosa. Predominan los suelos pedregosos, determinados por el material origen (Contratas Ancar, 2013).

Son suelos de poco a medianamente profundos, encontrándose mayores espesores en las umbrías, sobre las litofacies blandas y en los usos agrícolas. El contenido en materia orgánica es, en general, de moderado a fuertemente húmico, presentándose este en las umbrías y en las cubiertas vegetales más pobladas, mientras que son débilmente húmicos los dedicados a cultivos y los que soportan cubiertas muy ralas de matorral (Contratas Ancar, 2013).

#### 2.1.5. Vegetación

Según el Plan Director “Plantando Agua”, a grandes rasgos, se pueden diferenciar las siguientes formaciones vegetales existentes en el área de estudio, antes del incendio:

- Pinares naturales maduros: zonas con cubierta entre el 60 y el 100%, por *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, junto con especies acompañantes como *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Sorbus domestica*, *Juniperus communis* y *Juniperus thurifera*; generalmente ubicados en laderas con pendientes moderadas o fuertes.
- Pinares de repoblación: son pinares de edad media, plantados entre los años 1955 y 1975. Están formados por masas puras de *Pinus sylvestris* y *Pinus*

*nigra* o mezcla de ambos. En el cabezo del Hierro, hay una pequeña masa repoblada de *Pinus pinaster*.

- Sabinares y enebrales: son masas de baja cobertura superficial y poca carga de combustible, situadas en zonas de alta pedregosidad, sobre canchales y roquedos. Compuestos por *Juniperus oxycedrus*, *J. phoenicea*, *J. communis*, *J. thurifera*.

- Encinares: más o menos densos, en monte bajo, en los que aparecen especies acompañantes como: sabinas, enebros y algún pie aislado de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.

Específicamente, El rodal 11, antes del incendio crecía una considerable masa de pinar (*pinus nigra*) de repoblación. Actualmente no se observan grandes movimientos de regeneración natural. Existen dentro del rodal algunos pies de carrasca de forma aislada, así como otras especies como enebros (*Juniperus oxycedrus*), rosales silvestres (*rosa canina*) y guillomos (*Amelanchier ovalis*).

Expertos caracterizaron la zona y escogieron dependiendo de las particularidades de cada rodal, unas especies, que serían plantadas para la restauración de cada uno de los rodales. Las especies empleadas para la totalidad del proyecto han sido: *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Sorbus domestica*, *Acer monspessulanum*, *Juniperus thurifera*, *Juniperus phoenicea*, *Crataegus monogyna*, *Pinus spinosa*, *Pinus halepensis*, *Juniperus oxycedrus* y *Prunus spinosa*.

Las especies escogidas para repoblar el rodal 11, han sido *Quercus ilex* (250 pl/ha), *Acer monspessulanum* (100 pl/ha) y por último, siendo el único rodal donde se implanto, *pinus halepensis* (450 pl/ha), (Figura AV 74). Esto hace una densidad total del rodal de 1100 pl/ha. Un dato enormemente menor a lo acostumbrado a densidades en otras restauraciones forestales del pasado que podían llegar a tener incluso 3000 pl/ha. Esto es debido porque uno de los objetivos globales del proyecto, es crear unos bosques del siglo XXI que sean capaces de luchar contra el calentamiento global y la escasez de agua. La menor densidad de plantones repercute en una menor cantidad de agua consumirá el futuro bosque.

El *Pinus halepensis* ha sido utilizado como especie para la restauración únicamente en el rodal 11, no se ha empleado en ningún otro rodal del proyecto. Esta especie *pinus halepensis* suele desarrollarse en lugares con una altura menor y con unas temperaturas más cálidas, pero por lo dispuesto anteriormente, acerca del objetivo de crear un bosque del siglo XXI, con el calentamiento global se ha reflexionado que *Pinus halepensis* será capaz de

desarrollarse en zonas con mayor altitud que en el pasado no habría podido por unas temperaturas más frías.

El método de plantación del rodal 11 fue manual, con la ayuda de ahoyadoras. Esta herramienta es capaz de crear un hoyo de una profundidad entre 50 – 75 cm, donde posteriormente se introduce el individuo que proviene de un invernadero con una edad aproximada de un año. La especie *Quercus ilex*, a diferencia del resto, se les añadía un protector horizontal de la marca Tubex.

## 2.2. Descripción de la toma de muestras

### 2.2.1. Fechas del muestreo

El rodal que se ha estudiado ha sido el denominado por el proyecto como rodal 11, **Figura 11**, que ocupa una superficie de 38,35 ha, en las cuales fueron repobladas 25 ha. La plantación se dio en el invierno del 2016-17, se quiso evaluar durante su primer año y ver su evolución hasta el 2019, año de la última toma de datos. Para ello se hicieron tres muestreos.

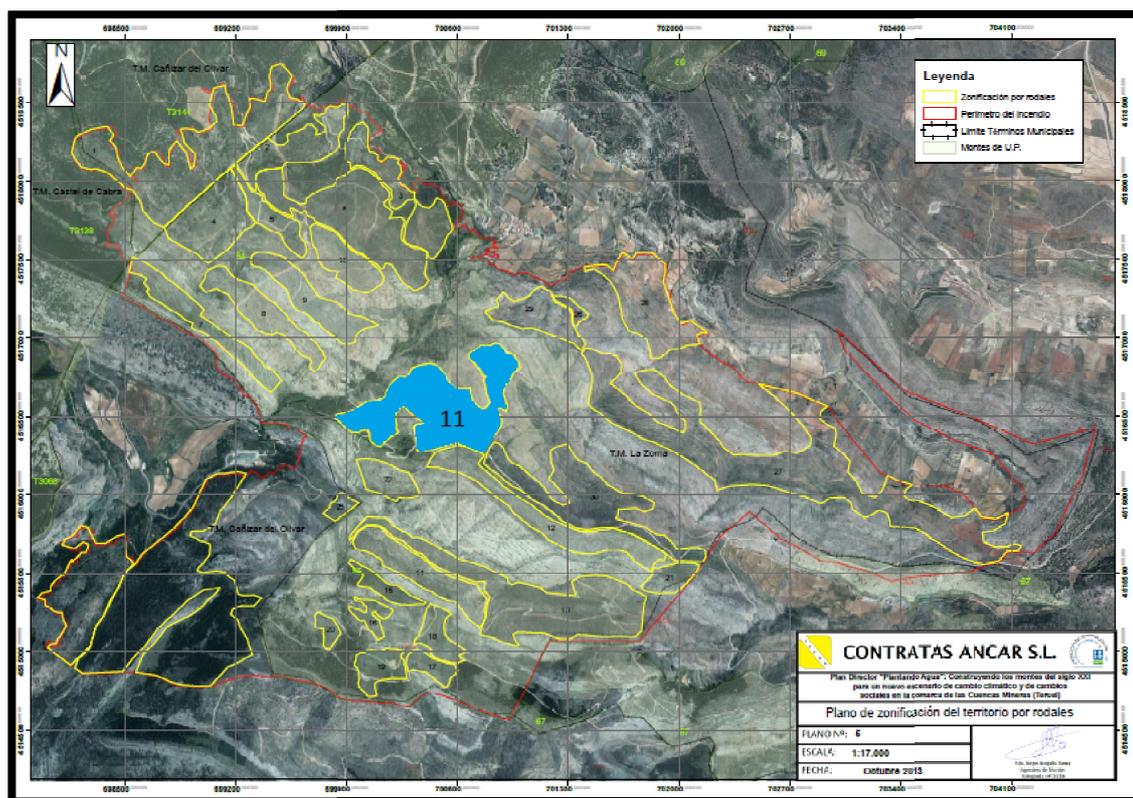


Figura 11. Proyecto “Plantando Agua” zonificado por rodales.

Fuente: Contratas Ancar, 2013, elaboración propia.

El primer muestreo se realizó en junio de 2017, justo antes del periodo estival y al poco tiempo de haber terminado la repoblación. Este muestreo ayudó a contabilizar a todos los individuos, ya que al haber sido realizado tan próximo a su plantación, no habían sucedido apenas perturbaciones que hubieran hecho la desaparición y muerte de ellos.

El segundo muestreo se realizó en noviembre de 2017. Este muestreo permitió obtener conclusiones de cómo afectó el periodo estival a la repoblación y cómo habían evolucionado durante el año 2017.

El tercer y último muestreo se produjo en junio de 2019. Toma de datos muy interesante ya que nunca, una misma persona, se había ocupado de la toma de muestras de un mismo rodal durante un intervalo de tiempo tan extenso. Este último muestreo otorgó conclusiones de cómo han afectado los 2 primeros años a la repoblación.

Durante los muestreos se tomaron datos de la supervivencia de los individuos, su estado de salud (senescencia) y si habían sido objetivo del ramoneo de la fauna herbívora salvaje.

### **2.2.2. Estratificación del muestreo**

El rodal 11, el mayor en extensión de todos los rodales del proyecto “Plantando Agua” con 38,5 ha, de las cuales fueron destinadas a repoblación forestal 25 ha, se dividió en diferentes unidades ambientales por su capacidad ecohidrológica, naturaleza y situación altimétrica (**Figura 12** y **Tabla 1**). El objetivo era tomar datos del 10% del rodal, para su posterior extrapolación a la totalidad. Cuando se observaron las diferencias entre las unidades ambientales también tuvo que ajustarse el área a medir en cada una de ellas con su tamaño. Así pues, se muestreo un 10% de cada unidad ambiental:

- Bancal cóncavo parte alta ladera (0,7 ha parceladas)
- Bancal cóncavo parte baja ladera (0,13 ha parceladas)
- Bancal convexo parte alta ladera (0,42 ha parceladas)
- Bancal convexo parte baja ladera (0,13 ha parceladas)
- Bancal ladera recta parte baja ladera (0,1 ha parceladas)
- Concavidad parte alta ladera (0,13 ha parceladas)
- Convexidad parte alta ladera (0,56 ha parceladas)
- Convexidad parte baja ladera (0,09 ha parceladas)
- Fondo ladera recta parte baja (0,13 ha parceladas)
- Vaguada abancalada parte baja ladera (0,2 ha parceladas)

En total la superficie muestreada es de 2,59 ha. La superficie total del rodal es de 25 ha, como se han medido 2,59 Ha, se han obtenido datos de algo más del 10% del rodal. Con los datos obtenidos se podrá extrapolar a lo que sucede en el 100%, es decir en la totalidad del rodal.

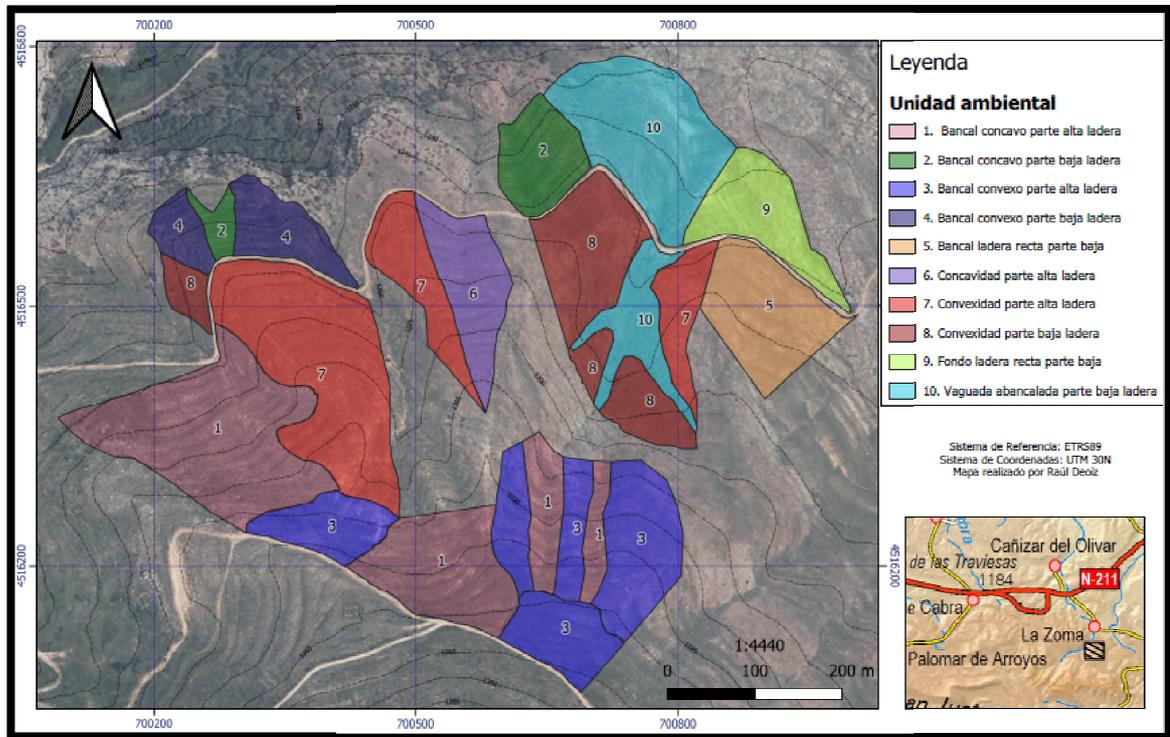


Figura 12. Rodal diferenciado en unidades ambientales.

Fuente: Elaboración propia.

El programa empleado para la realización de la **Figura 12** y diseño de las unidades ambientales fue “QGIS Geographic Information System”.

Se decidió no tener en cuenta a la hora de realizar las unidades ambientales la orientación porque todo el rodal se encuentra en una gran ladera con orientación Noroeste, por lo que al situarse todas en la misma orientación, no se tomo como una variable que fuera relevante.

Finalmente además de la agrupación en diferentes unidades ambientales, se hicieron dos agrupaciones de dos variables dicotómicas cada una. La primera agrupación fue entre zonas exportadoras o de zonas importadoras, vino definido por la capacidad de una zona en transportar agua, nutrientes y sedimentos (ecohidrológica). La segunda agrupación fue entre zonas altas y zonas bajas, vino definida por la altitud, (**Tabla 1**).

### 2.2.3. Parcelación y seguimiento

Una vez diferenciadas las unidades ambientales y el área a determinar en cada una de ellas dependiendo del área total de la unidad ambiental, fue decisivo el método de parcelación. Cada unidad ambiental tenía un tamaño diferente, es por ello que el tamaño y número de parcelas en cada unidad varía (Tabla 1). Se realizaron un total de 26 parcelas, cuya forma de muestreo que se escogió fue la de parcelas en círculo, con radios que oscilaban entre 9 y 22 metros, ya que eran relativamente fáciles de realizar desde un punto central que se marcaba físicamente in situ con una estaca y una posición GPS (Figura AV 81). Este paso se hizo con especial exactitud para que en posteriores años sea sencilla su búsqueda para próximos investigadores. Las parcelas en forma de círculo tienen además la ventaja de que son fácilmente reproducibles año tras año con exactitud si conoces el punto central y el radio que le corresponde.

Las parcelas se pretendió que fueran representativa de cada una de las unidades ambientales, por lo tanto se realizó un muestreo sectorizado en el que no se dejó al azar la situación y tamaño de cada una de ellas.

En cada una de las parcelas se muestrearon individuos de la población vegetal repoblada y se anotaron las siguientes variables: especie, supervivencia, su estado (senescencia) y si se encontraban afectados por la fauna herbívora salvaje. Es de mencionar que únicamente durante el primer muestreo, se realizó una toma de datos sobre el crecimiento y la altura de diez especies diferentes por parcela para que futuros investigadores tuvieran una base de datos (Figura AV 75), aunque en este trabajo no se ha estudiado.

La variable especie consistía en reconocer el individuo, en el rodal únicamente se plantaron las especies *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* y *Acer monspessulanum*.

La variable supervivencia trataba de averiguar si el individuo se encontraba con vida o sin ella.

La senescencia es una característica que pueden presentar las plantas, esto consiste en una caída, pérdida de brillo y firmeza en las hojas, ramas secas, enfermas o débiles, etc. Estos cambios pueden suceder por dos motivos; porque la planta está sufriendo un envejecimiento, las células ya no se dividen a la misma velocidad y comienza el declive hasta la muerte del individuo o por el contrario un individuo no consigue adaptarse al ecosistema en el que se encuentra y comienza un declive de funciones que puede conllevar a la muerte. En la repoblación forestal de La Zoma, lo que se pretende investigar de la variable senescencia es el segundo caso. La forma de toma de datos fue apuntando que individuos presentaban

senescencia y cuáles no. Sucedió un error de muestreo durante noviembre de 2017, ya que la especie *Acer monspessulanum* es una especie caducifolia, es decir, tiene un aletargamiento de las funciones vitales durante los meses invernales. Durante dicho mes los individuos de *Acer monspessulanum* se encontraban aletargados y comenzando a desprenderse de sus hojas y las que seguían teniendo eran de un color pardo. Esta situación conllevó a que muchos *Acer monspessulanum* se apuntaran erróneamente como individuos en proceso de senescencia cuando únicamente estaba sucediendo era un proceso anual y benigno. Debido a esta situación se decidió no tener en cuenta el muestreo de noviembre de 2017 para esta especie y la globalidad del rodal.

La afección de la fauna herbívora sobre la plantación forestal, problemática ya conocido cuando se diseñó el Plan Director del proyecto (2013), fue observada gracias a las marcas de ramoneo que estos dejaban en los individuos. El mecanismo que se seguía consistía en apuntar los individuos que tenían signos de ramoneo y los que no.

Apareció un problema global durante el muestreo del rodal. Había ocasiones durante los muestreos que se encontraban hoyos de plantación vacíos, sin individuo, por lo que no se les pudo asignar a ninguna especie. Durante el primer muestreo se encontraron 101 hoyos que se tuvieron en cuenta para la supervivencia global pero no para la supervivencia por especies. Durante los muestreos siguientes se pudo saber a qué especie pertenecían los diferentes hoyos vacíos ya que durante el primer muestreo se tenían datos. Por esta situación, en las estadísticas globales hablamos de una muestra de 3052 individuos por muestreo, pero cuando la estadística depende de la diferenciación de especies se habla de 2951 individuos por muestreo.

En el proceso de conteo durante la toma de muestras, a cada individuo se le hacía una señal con spray para evitar errores de repetición. Se repitió el mismo mecanismo durante los tres muestreos.

A continuación **Tabla 1** se especifica la caracterización de las diferentes unidades ambientales, las superficies, el número de parcelas empleadas para el muestreo de cada unidad ambiental y los individuos muestreados.

Unidad ambiental	Transito de nutrientes, agua y sedimentos	Zona	Área (ha)	Superficie parcelada (ha)	Número de parcelas	Nº Individuos
BANCAL CONCAVO PARTE ALTA LADERA	Importadora	Alta	7	0,7	6	804
BANCAL CONCAVO PARTE BAJA LADERA	Importadora	Baja	1.19	0,13	2	118
BANCAL CONVEXO PARTE ALTA LADERA	Exportadora	Alta	3.95	0,42	4	453
BANCAL CONVEXO PARTE BAJA LADERA	Exportadora	Baja	1.28	0,13	1	132
BANCAL LADERA RECTA PARTE BAJA	Importadora	Baja	1.7	0,1	1	102
CONCAVIDAD PARTE ALTA LADERA	Importadora	Alta	1.26	0,13	1	153
CONVEXIDAD PARTE ALTA LADERA	Exportadora	Alta	4.16	0,56	5	713
CONVEXIDAD PARTE BAJA LADERA	Exportadora	Baja	1	0,09	1	146
FONDO LADERA RECTA PARTE BAJA	Exportadora	Baja	1.39	0,13	2	154
VAGUADA ABANCALADA PARTE BAJA LADERA	Importadora	Baja	2.07	0,2	3	277

Tabla 1. Unidades ambientales y principales características.

Fuente: Elaboración propia.

### **2.3. Tratamiento de los datos y análisis estadístico.**

Una vez que se han tomado los datos de supervivencia, senescencia y ramoneo de cada unidad ambiental, se procedió a introducir los datos en el programa Microsoft Office Excel, creando una base de datos y representando gráficamente los mismos. Con este programa se pueden tomar unas primeras impresiones, observar los datos de una manera organizada y realizar los primeros estudios de manera transversal.

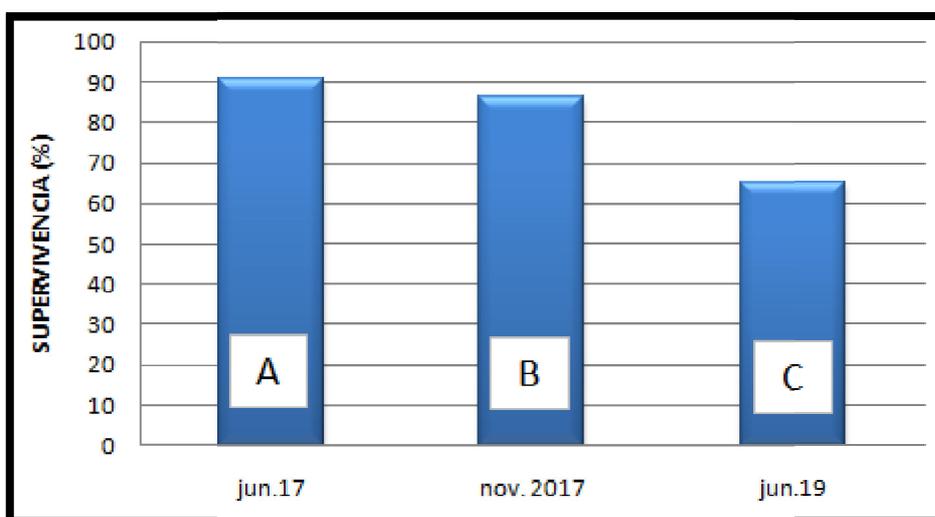
Posteriormente, toda la base de datos se introdujo de manera adecuada en el programa estadístico “R: A language and environment for statistical computing”. Este programa es capaz de realizar pruebas estadísticas complejas. La prueba utilizada para este trabajo ha sido la de Chi cuadrado, es un contraste de hipótesis no paramétrico, muy adecuada para variables cuantitativas con tamaños de muestra muy grande como la recopilada en este trabajo.

### 3. Resultados

#### 3.1. Supervivencia del rodal

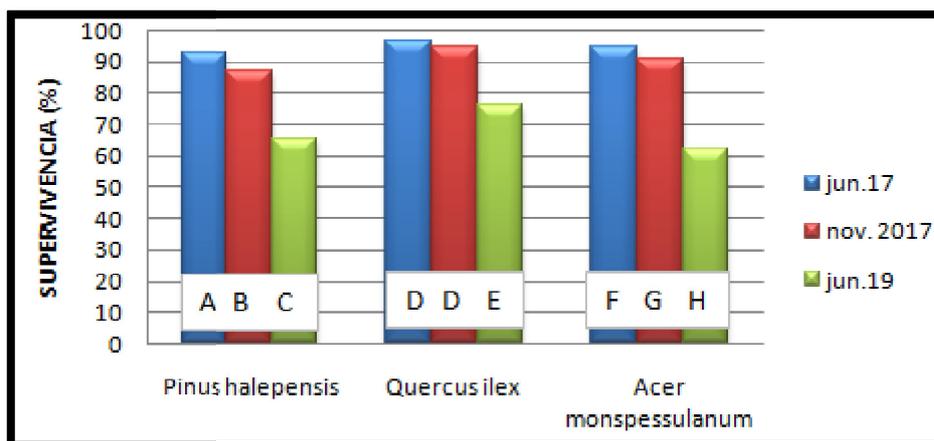
Este apartado hace referencia a los resultados obtenidos en cuanto a la supervivencia del rodal, durante los tres diferentes muestreos: Antes del periodo estival, posterior al periodo estival y dos años después de la plantación.

Como se puede observar en la **Figura 13**, los tres muestreos tienen diferencias significativas de supervivencia entre ellos, obteniendo en Junio de 2017 un 90,82%, en Noviembre de 2017 un 86,14% y en Junio de 2019 un 65,17%.



**Figura 13. Evolución temporal de la supervivencia del rodal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística de la grafica **Figura 13** realizada ha sido la prueba Chi cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ). El tamaño de la muestra es jun.17  $n=3052$ , nov.17  $n=3052$  y jun.19  $n=3052$ .

En cuanto a la supervivencia por especies, todas ellas, **Figura 14**, han obtenido diferencias entre los muestreos a excepción de *Quercus ilex* que se mantuvo sin diferencias significativas entre el muestreo de junio 2017 y noviembre 2017, esto quiere decir que no se vio afectada su supervivencia por el periodo estival, mientras que el resto sí. Los valores obtenidos son *Pinus halepensis*: junio 2017 un 92,87%, noviembre 2017 un 86,73% y mayo 2019 un 65,15%. *Quercus ilex*: junio 2017 un 96,54%, noviembre 2017 un 94,74% y mayo 2019 un 75,76%. *Acer monspessulanum*: junio 2017 un 94,44%, noviembre 2017 un 90,52% y mayo 2019 un 61,76%.



**Figura 14. Supervivencia del rodal dependiendo de la especie. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística de la **Figura 14** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, para cada especie. Letras diferentes entre muestreos indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos para la misma especie ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indican la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n = 5769$ , *Quercus ilex*  $n = 2166$  y *Acer monspessulanum*  $n = 918$ .

En la última toma de datos, en junio de 2019, las tres especies tomaron los valores de supervivencia representados en la **Figura AI 40** con un 65,16% (*Pinus halepensis*), 75,76% (*Quercus ilex*) y 61,76% (*Acer monspessulanum*). Teniendo todas ellas diferencias significativas entre sí.

### 3.1.1. Supervivencia según unidad ambiental

Las diferencias geomorfológicas y naturales que conforman la zona hicieron obligatoria la división del rodal en unidades ambientales (**Figura 11**). Estas ofrecen valiosos datos de supervivencia. Queda representado en la **Figura AI 41** como la unidad ambiental que en junio de 2019 tuvo valores superiores fue “Bancal ladera recta parte baja” (79,41%) y la que obtuvo valores inferiores fue “Vaguada abancalada parte baja ladera” (52,71%).

La **Figura 15** aparece representado la supervivencia de cada unidad ambiental en todos los muestreos. Existen diferencias en todas las unidades ambientales entre 2017 y 2019. Pero en cuanto a lo que se refiere al primer periodo estival, las unidades “Bancal convexo parte alta ladera”, “Bancal convexo parte baja ladera”, “Bancal ladera recta parte baja”, “Concavidad parte alta ladera”, “Convexidad parte alta ladera” y “Convexidad parte baja ladera” no tuvieron diferencias significativas en su supervivencia. Los datos obtenidos son: Bancal cóncavo parte alta ladera 94,15%, 87,18% y 67,66%; Bancal cóncavo parte baja ladera 94,06%, 89,83% y 64,40%; Bancal convexo parte alta ladera 92,05%, 91,16% y 67,99%; Bancal convexo

parte baja ladera 87,12%, 87,12% y 57,58%, Bancal ladera recta parte baja 98,03%, 95,10% y 79,41%; Concavidad parte alta ladera 90,19%, 90,19% y 66,67%; Convexidad parte alta ladera 94,52%, 81,06% y 64,93%; Convexidad parte baja ladera 94,52%, 85,62% y 66,43%; Fondo ladera recta parte baja 88,96%, 81,82% y 62,33%; y Vaguada abancalada parte baja ladera 89,89%, 83,03% y 52,70%.

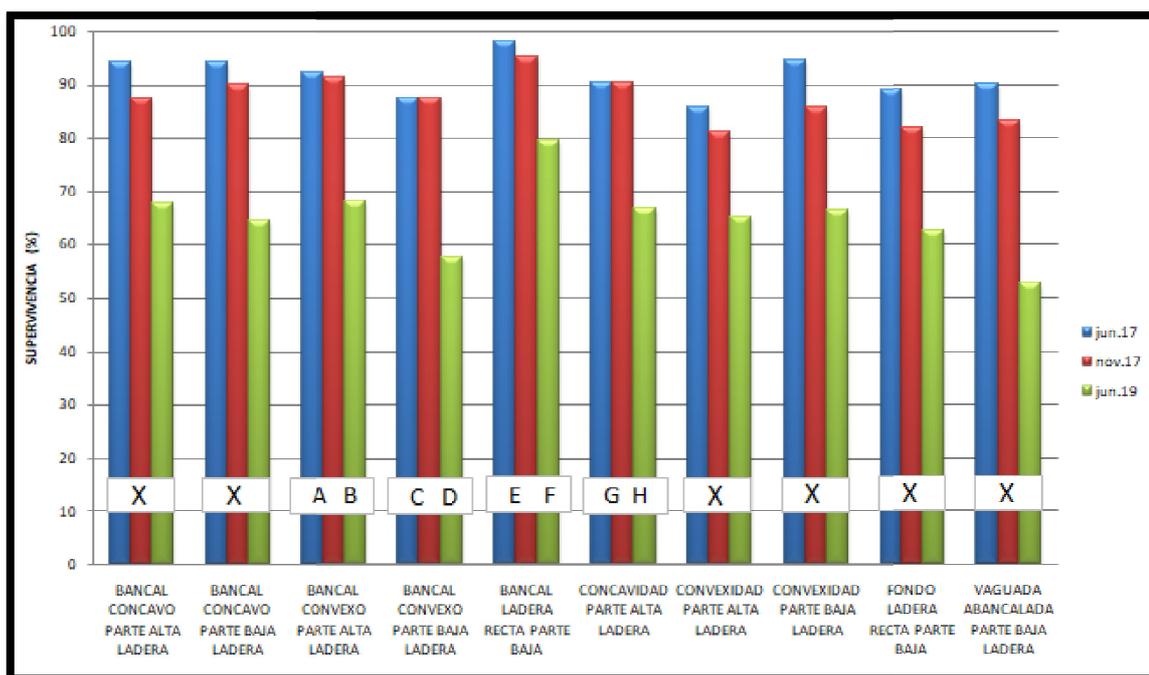


Figura 15. Supervivencia de cada unidad ambiental, en todos los muestreos. Fuente: Elaboración propia.

La comparación estadística realizada para la Figura 15 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada unidad ambiental. El símbolo "X" indican la existencia de diferencias significativas en los tres muestreos de la unidad ambiental ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indica diferencia significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en dos muestreos indica que no hay diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) El tamaño de la muestra es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 2412$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 354$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 1359$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n = 396$ , Bancal ladera recta parte baja  $n = 306$ , Concavidad parte alta ladera  $n = 459$ , Convexidad parte alta ladera  $n = 2139$ , Convexidad parte baja ladera  $n = 438$ , Fondo ladera recta parte baja  $n = 462$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n = 831$ .

La Figura AI 42, Figura AI 43 y Figura AI 44 representa gráficamente la evolución de la especie *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* y *Acer monspessulanum* en las diferentes unidades ambientales ordenado cronológicamente.

La especie *Acer monspessulanum* está presente en todas las unidades ambientales a excepción de dos (Figura AI 44) Concavidad parte alta ladera y Convexidad parte baja ladera.

En tres de las ocho unidades en las que se encuentra tuvo diferencias significativas durante el intervalo de tiempo estival. En el resto se mantuvo apenas sin diferencias durante ese periodo. En el muestreo de 2019 se puede observar como disminuye considerablemente su supervivencia a excepción de la unidad ambiental “Convexidad parte alta ladera” que permanece prácticamente igual que en el primer muestreo.

Se obtuvieron a su vez datos de la supervivencia de cada especie en las unidades ambientales durante todos los muestreos (Figura A1 45) y para que visualmente sea más fácil de reconocer se creó la Figura 16 que hace referencia al año 2019. En el 2019, la especie *Quercus ilex* parece mantenerse con un nivel de supervivencia estable entre las unidades, la unidad ambiental en la que mejor prolifera es “Bancal ladera recta parte baja” (84%) y la que peor es “Convexidad parte alta ladera” (62,82%). El *Pinus halepensis* tiene una supervivencia algo más oscilante en cada unidad ambiental siendo el “Bancal ladera recta parte baja” (79,1%) en donde más supervivencia obtiene y el “Bancal convexo parte baja” (36,84%) en donde menos. Por último el *Acer monspessulanum* es la especie que más responde ante las diferentes unidades desde un 84,61% en “Convexidad parte baja ladera” a un 22,22% en “Bancal convexo parte alta”.

Los resultados obtenidos en la Figura 16 acerca de la supervivencia durante el 2019 en cada unidad ambiental ordenados por *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* y *Acer monspessulanum* respectivamente: Bancal cóncavo parte alta ladera 64,72%, 78,06% y 80,46%; Bancal cóncavo parte baja ladera 59,45%, 79,31% y 38,09%; Bancal convexo parte alta ladera 66,78%, 82,97% y 22,22%; Bancal convexo parte baja ladera 36,84%, 76,46% y 60%, Bancal ladera recta parte baja 79,1%, 84% y 70%; Concavidad parte alta ladera 60,29%, 78,2% y 0% (no hay presencia de *Acer monspessulanum* en esa unidad); Convexidad parte alta ladera 68,4%, 62,82% y 84,61%; Convexidad parte baja ladera 67,5%, 64% y 0%(no hay presencia de *Acer monspessulanum* en esta unidad ambiental); Fondo ladera recta parte baja 61,73%, 73,91% y 50%; y Vaguada abancalada parte baja ladera 56,33%,62,74% y 43,03%.

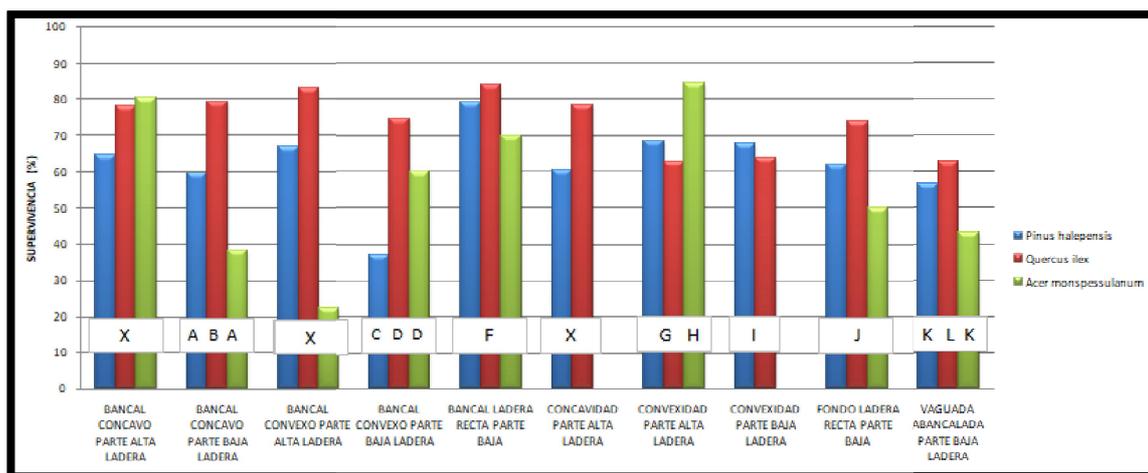


Figura 16. Supervivencia de cada especie, en el año 2019, en cada una de las unidades ambientales.

Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura 16 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada unidad ambiental. La letra "X" indica la existencia de diferencias significativas entre todas las especies de cada unidad ambiental ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indican diferencias significativas entre especies ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en todas las especies de la unidad indica que no hay diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 804$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 118$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 453$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n = 132$ , Bancal ladera recta parte baja  $n = 102$ , Concauidad parte alta ladera  $n = 153$ , Convexidad parte alta ladera  $n = 713$ , Convexidad parte baja ladera  $n = 146$ , Fondo ladera recta parte baja  $n = 154$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n = 277$ .

### 3.1.2. Supervivencia según zonas exportadoras/importadoras

Las unidades ambientales se agruparon según su capacidad de mover agua, nutriente y sedimentos (capacidad ecohidrológica) en dos grandes grupos, exportadoras e importadoras. En el año 2019, como representa la Figura Al 46 y Figura 17 el porcentaje de supervivencia fue algo mayor en la zona importadora, 63,85% frente a 66,17% pero no supuso diferencias significativas.

Durante todos los muestreos, en la Figura 17 se puede comprobar cómo las zonas importadoras tienen mayor supervivencia, pero no tienen diferencias significativas, únicamente en el 2017 justo antes del periodo estival donde la zona importadora obtiene mejores resultados que la exportadora.

Los datos obtenidos en la Figura 17 sobre supervivencia ordenado por zonas exportadoras e importadoras respectivamente según el muestreo: junio 2017 89,64% y 93,26%; noviembre 2017 85,35% y 89,06%; junio 2019 63,85 y 66,17%.

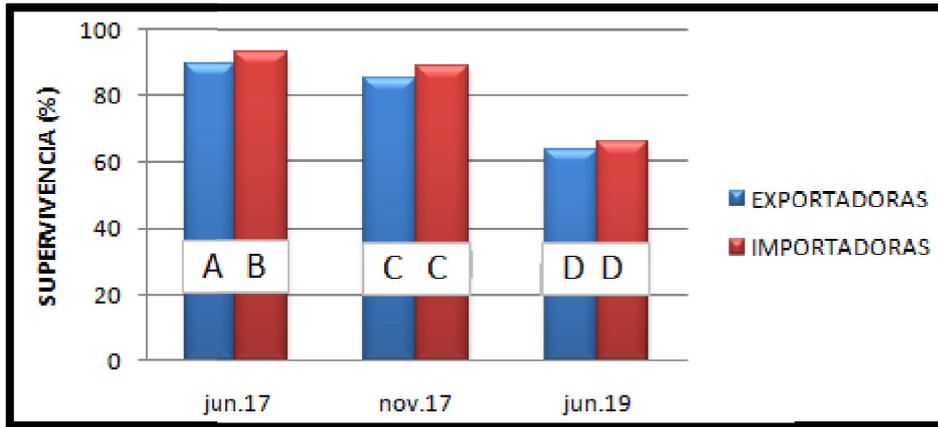


Figura 17. Supervivencia global en zonas exportadoras e importadoras en todos los muestreos.

**Evolución temporal.** Fuente: **Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la Figura 17 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, en cada muestreo. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre zonas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indican la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es  $n = 2951$  en cada uno de los muestreos.

Los datos obtenidos en la Figura 18 sobre la supervivencia en el 2019 según zona exportadora e importadora respectivamente en cada especie: *Pinus halepensis* 87,51% y 85,68%; *Quercus ilex* 94,59% y 94,86%; *Acer monspessulanum* 78,90% y 92,39%. Únicamente la especie *Acer monspessulanum* obtiene diferencias significativas entre zona exportadora e importadora.

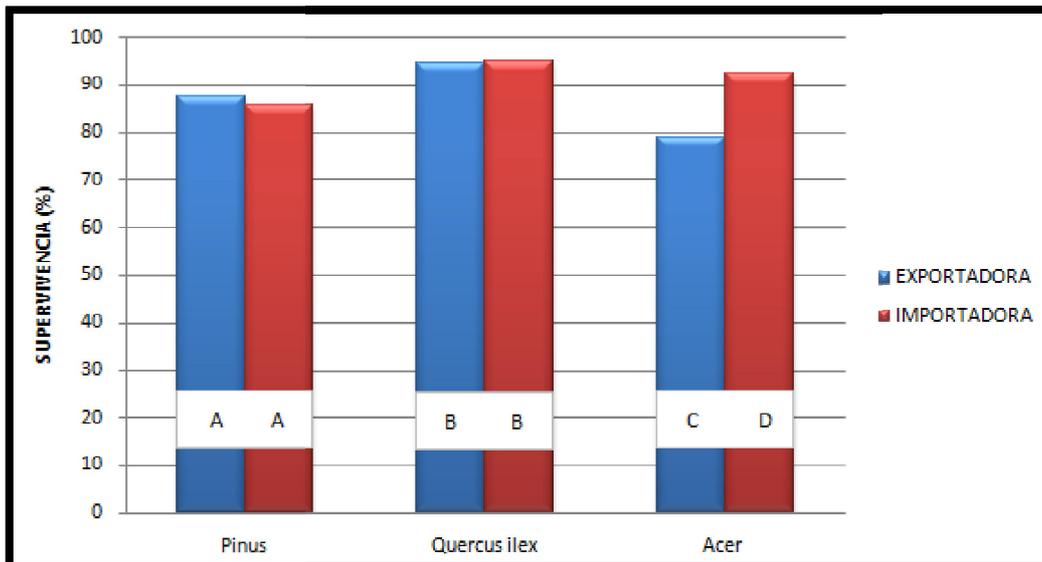
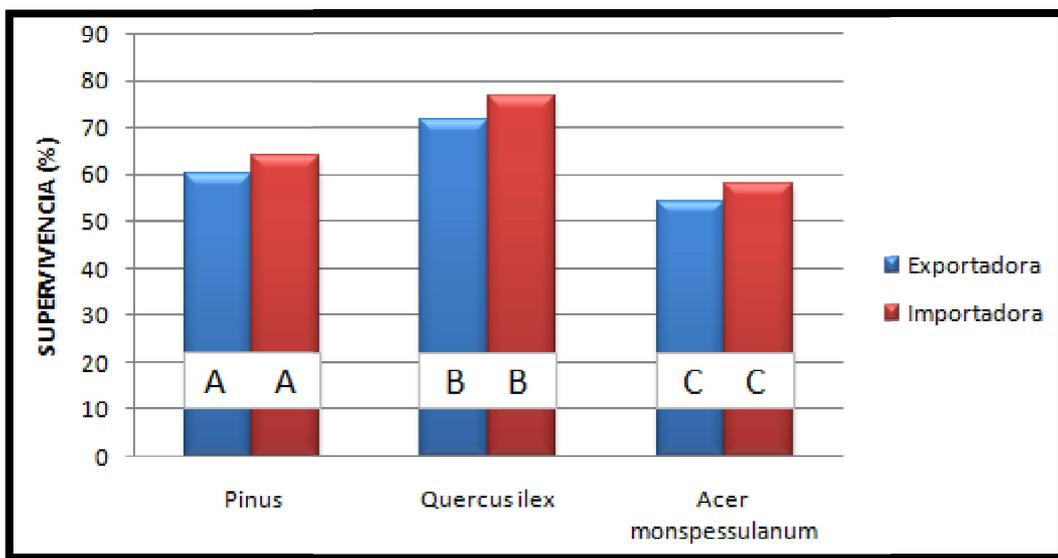


Figura 18. Supervivencia de cada especie según capacidad ecohidrológica tras el periodo estival. Fuente **elaboración propia.** La comparación estadística para la Figura 18 realizada ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos para cada especie. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre

zonas para cada especie ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n=1923$ , *Quercus ilex*  $n=722$  y *Acer monspessulanum*  $n= 306$ .

Todas las especies reflejan una cierta ventaja en las zonas importadoras que en las exportadoras durante el 2019 (**Figura 19**) pero no tienen diferencias significativas en ninguna de ellas.

Los datos obtenidos en la **Figura 19** acerca de la supervivencia en el 2019 de zonas exportadoras e importadoras respectivamente según especie: *Pinus halepensis* 60,25% y 63,98%; *Quercus ilex* 71,63% y 76,46%; *Acer monspessulanum* 54,21% y 57,89%. Obteniendo todas las especies resultados sin diferencias significativas entre las zonas.



**Figura 19. Supervivencia de las especies, en el año 2019, según su capacidad ecohidrológica. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 19** ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos para cada especie. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre las zonas para cada especie ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra indica la no existencia de diferencias significativas entre las zonas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n=1923$ , *Quercus ilex*  $n=722$  y *Acer monspessulanum*  $n= 306$ .

En los diferentes muestreos se puede observar como a lo largo de los años, todas las especies en todas las zonas según su capacidad ecohidrológica reflejan diferencias significativas (**Figura AI 47**) entre este periodo y el postestival del primer año. En cuanto al periodo estival, solamente *Quercus ilex* en las dos zonas y *Acer monspessulanum* en zona importadora se mantienen en este intervalo de tiempo sin diferencias significativas.

La comparación de la supervivencia de las unidades ambientales en todos los muestreos divididas en zonas exportadoras e importadoras (**Figura AI 48**), contiene los datos reagrupados de la **Figura 15**, por lo que no se ha realizado análisis estadístico. Para una mayor fuente de información también se ha creado la **Figura AI 49** en la que aparece que especies y

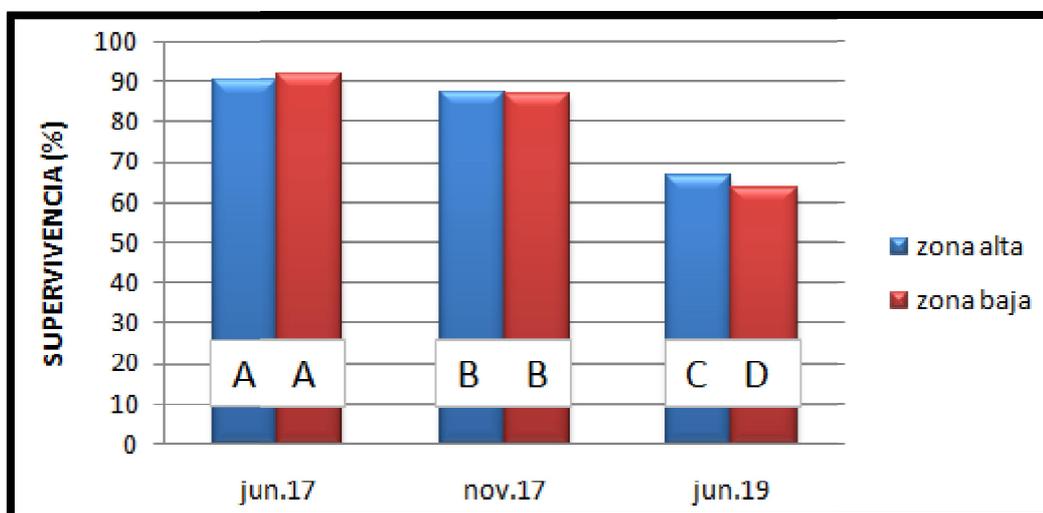
que porcentaje de supervivencia tiene cada una de ellas en las diferentes unidades ambientales. La **Figura AI 49** a su vez contiene la misma información de las unidades ambientales, reagrupada en zonas exportadoras e importadoras, de la **Figura AI 45**.

### 3.1.3. Supervivencia dependiendo de la altitud

La altitud ha sido otro factor relevante a la hora de dividir el rodal 11. Es por ello que se ha tenido en cuenta a la hora de la obtención de los resultados. En el año 2019, (**Figura AI 50** y **Figura 20**), existen diferencias significativas entre las dos zonas, siendo la zona alta con un 66,81% la de mayor supervivencia y la zona baja con un 63,81%.

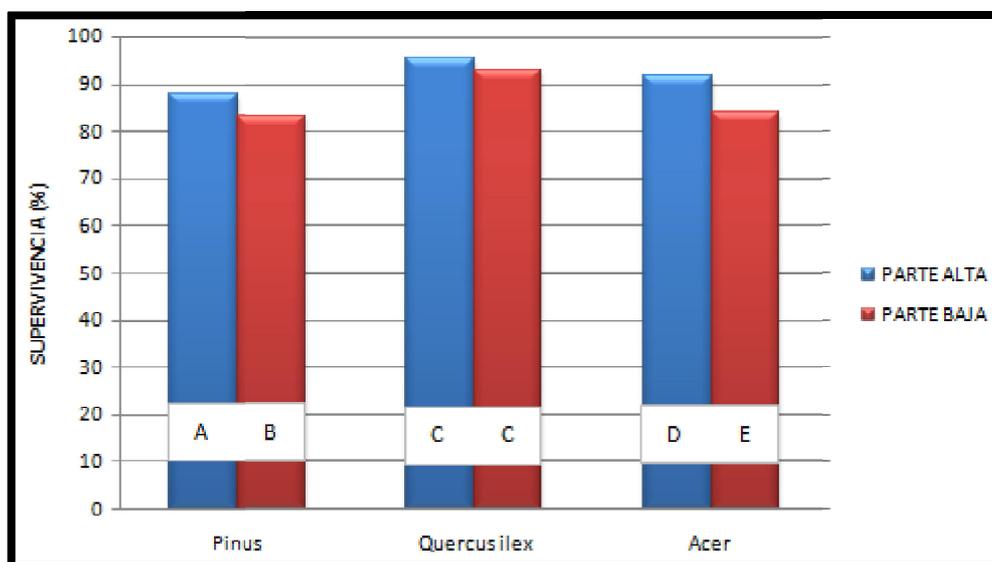
Los datos obtenidos de supervivencia entre las dos zonas no ofrecen diferencias significativas entre ellos durante los muestreos, **Figura 20**, exceptuando el muestreo de junio 2019 que si que se obtienen diferencias significativas como ya se ha mencionado anteriormente.

Los datos obtenidos para la **Figura 20** en junio de 2017 son 90,48% para la zona alta y 92,10% para la zona baja mientras que en noviembre de 2017 es 87,40% para la parte con mayor altura y 87,08% para la de menor.



**Figura 20. Evolución temporal de la supervivencia global en todos los muestreos dependiendo de la altitud. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la Figura 20 ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos en cada muestreo. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre zonas para el muestreo ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Zona alta  $n=6369$  y Zona baja  $n= 2787$ .

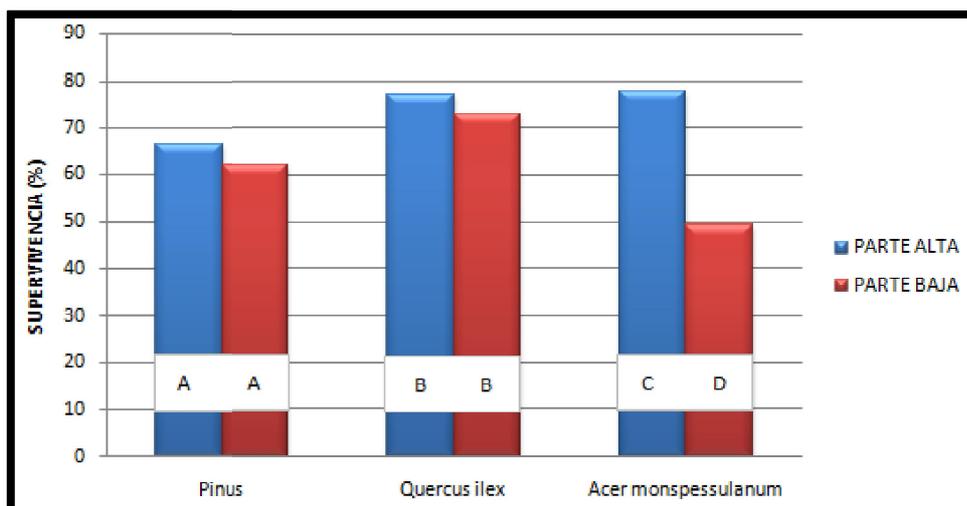
Los datos obtenidos para el periodo estival plasmados en la **Figura 21** son en orden de primero parte alta y posteriormente parte baja: *Pinus halepensis* 87,96% frente a 83,42%, *Quercus ilex* 95,54% frente 93,01% y *Acer monspessulanum* 91,85% frente 84,21%.



**Figura 21. Supervivencia de todas las especies dependiendo de la altura tras periodo estival. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 21** ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos para cada especie. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre zonas en una misma especie ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Zona alta  $n=6369$  y Zona baja  $n= 2787$ .

Acercas de las especies, tanto *Pinus halepensis* como *Quercus ilex* no tienen diferencias significativas según la zona en la que se encuentran tras dos años de la plantación pero en la especie *Acer monspessulanum* sí (**Figura 22**).

Los datos obtenidos de supervivencia para la **Figura 22** son *Pinus halepensis* 66,38% en la parte alta frente 61,84% en la parte baja, *Quercus ilex* 77,07% en la parte alta frente a 72,92% en la parte baja y *Acer Monspessulanum* 77,77% en la parte alta frente a un 49,12% en la parte baja.



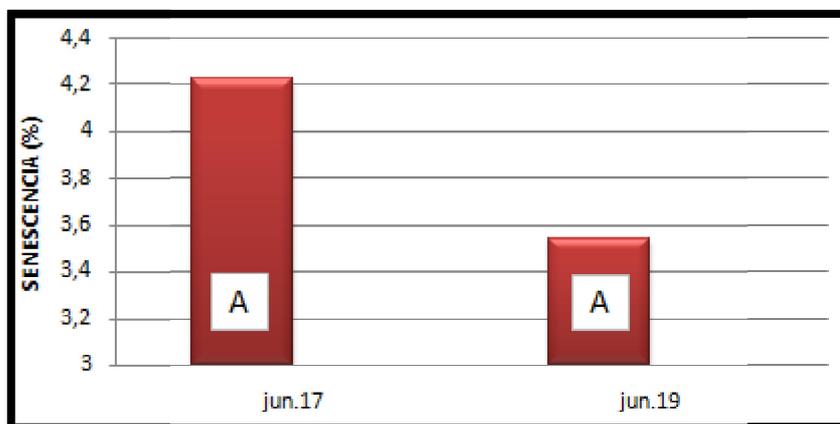
**Figura 22. Supervivencia de las especies en el año 2019 según la altitud. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 22** ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos para cada especie. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre zonas para una especie ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n=1923$  , *Quercus ilex*  $n=722$  y *Acer monspessulanum*  $n= 306$ .

Los valores obtenidos de supervivencia para la **Figura AI 51** representan la evolución temporal de cada una de las especies en el rodal según la altitud.

Se han realizado a su vez dos figuras, la **Figura AI 52** y **Figura AI 53**, en la que aparece representado la supervivencia de las unidades ambientales durante todos los muestreos divididas en zonas altas y bajas. Al mostrar la misma información que la **Figura 15** pero reagrupada según la altitud, se ha creído conveniente que aparezcan en el apartado Anejos (página 68).

## 3.2. Senescencia

Se han tomado datos de las plantas con signos de senescencia en el rodal (**Figura 23**). Durante los muestreos de junio de 2017 y junio de 2019 la senescencia global que presenta el rodal es similar (4,22% y 3,54% respectivamente) sin diferencias significativas.



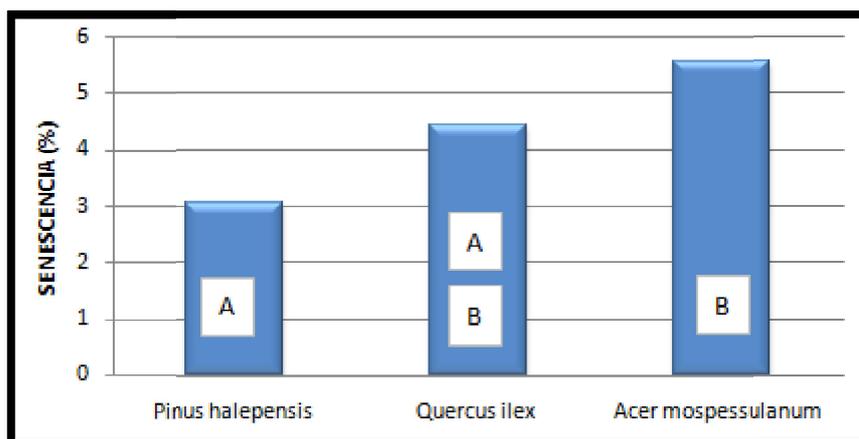
**Figura 23. Signos de senescencia en el conjunto de individuos. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 23** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 2951$  y jun.19  $n = 2951$ .

La especie *Pinus halepensis*, según aparece representado en la **Figura AII 54**, se mantiene sin diferencias significativas en todos sus muestreos, con valores de 4%, 4,16% y 3,07% en cada muestreo con orden cronológico.

La senescencia en la especie *Quercus ilex* (**Figura AII 55**), al igual que la especie *Pinus halepensis* (**Figura AII 54**), no aparecen diferencias significativas entre los muestreos, tomando valores de 3,88%, 4,85% y 4,43% en cada muestreo en orden cronológico.

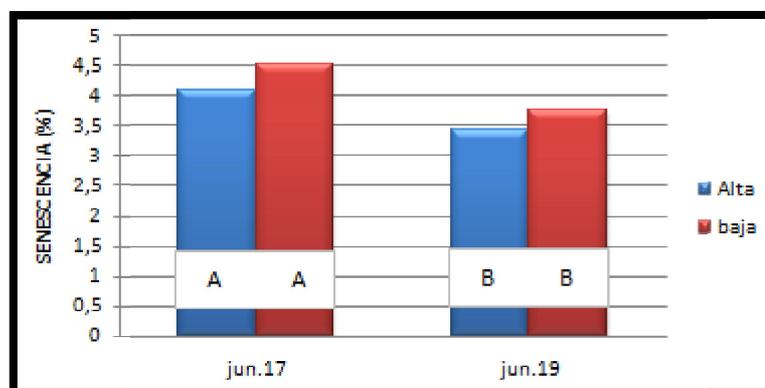
La senescencia en la especie *Acer monspessulanum*, representada en la **Figura AII 56**, no aparecen diferencias significativas entre junio de 2017 (7,84%) y junio de 2019 (5,55%).

Si se compara el nivel de senescencia de las especies en el año 2019 (**Figura 24**), se puede comprobar cómo la especie *Pinus halepensis* (3,07%) mantiene diferencias con *Acer monspessulanum* (5,56%). Sin embargo estas dos especies no tienen diferencias significativas con la especie *Quercus ilex* (4,43%). Si los datos son comparados con un nivel de confianza del 99%, en vez de al 95%, se observa que no existen diferencias significativas entre todas las especies.



**Figura 24. Senescencia de cada una de las especies en el año 2019.** Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura 24 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre especies ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indica la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Si los datos son evaluados con un nivel de confianza del 99%, todos ellos obtienen un  $p > 0,01$ , es decir, no habría diferencias significativas. El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n = 1923$ , *Quercus ilex*  $n = 722$  y *Acer mospessulanum*  $n = 306$ .

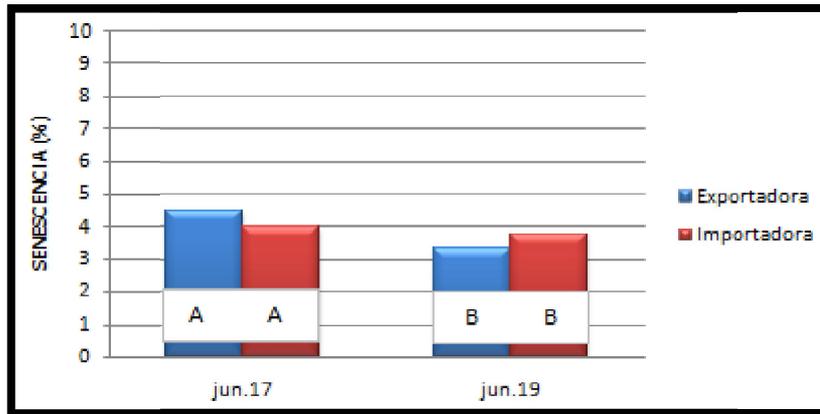
Quando se observa la senescencia de la parte alta y baja de la Figura 25 se puede comprobar cómo en todos ellos aparece algo más de porcentaje en la parte baja durante junio de 2017 (4,10% y 4,52%) que en junio de 2019 (3,44% y 3,77%) sin diferencias significativas.



**Figura 25. Evolución temporal de la senescencia según la altura.** Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura 25 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada muestreo según la zona. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 3052$  y jun.19  $n = 3052$ .

La comparación entre zonas importadoras y exportadoras plasmada en la Figura 26 es algo similar a la de la altura (Figura 25). En junio de 2017 (4,47% y 4%) no existen diferencias significativas entre los muestreos aunque aparecen más individuos en la zona exportadora que en la importadora. En junio de 2019 (3,30% y 3,75%) sigue sin existir diferencias significativas

entre las dos zonas pero esta vez es en la zona importadora donde aparecen más individuos senescentes.



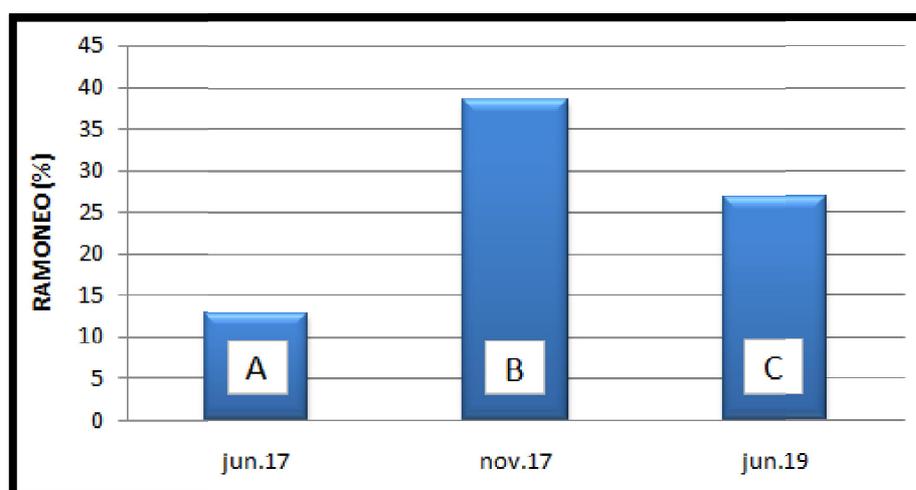
**Figura 26. Senescencia según la capacidad ecohidrológica. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 26** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada muestreo. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre las zonas del muestreo ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 3052$  y jun.19  $n = 3052$ .

Respecto a la senescencia en las unidades ambientales (**Figura All 57**) muestran datos que ya se han ido viendo a lo largo de este apartado. En concordancia con esta figura se creó la **Figura All 58** la que aparece el porcentaje de senescencia presente en los individuos diferenciados en las tres especies durante todos los muestreos y en todas las unidades ambientales.

### 3.3. Afección de la fauna herbívora

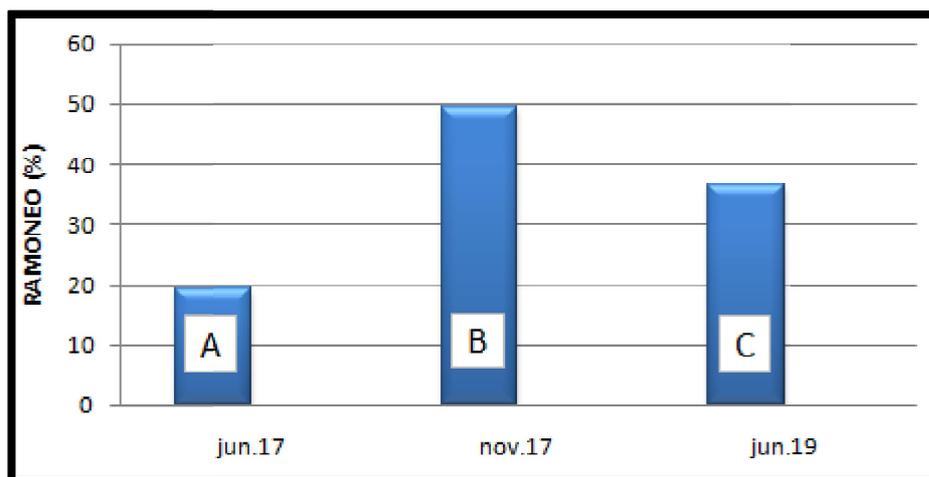
La afección de la fauna herbívora se ha tratado como el conteo de las plántulas que se han visto afectadas por la fauna herbívora, dejando en ellas señales de ramoneo.

Se ha plasmado en la **Figura 27** como durante los muestreos se ha aumentado el ramoneo de la fauna herbívora con los años y en especial durante el periodo estival. No se ha encontrado semejanzas en su forma estadística de cada muestreo. En junio 2017 se encontró al 12,78% de los individuos, en noviembre de 2017 al 38,47% y en junio de 2019 al 26,70% con afecciones producidas por la fauna herbívora.



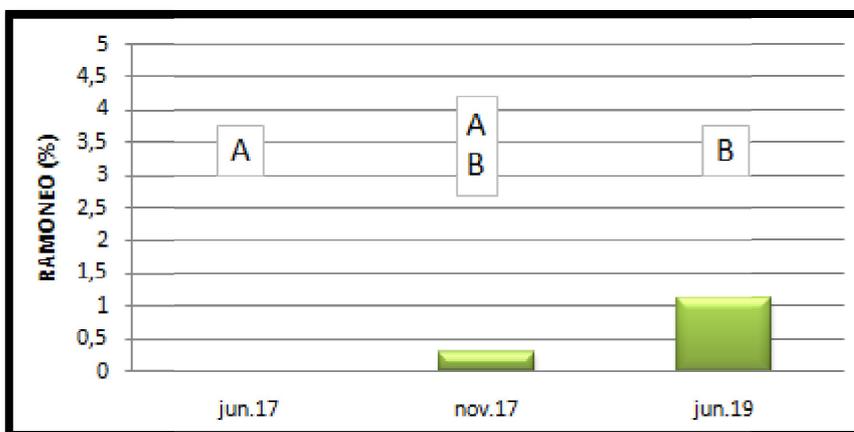
**Figura 27. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en el conjunto del rodal. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 27** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 2951$ , nov.17  $n = 2951$  y jun.19  $n = 2951$ .

En la **Figura 28** aparece como la especie *Pinus halepensis* se ve afectada de una manera muy similar a la globalidad del rodal. Junio de 2017 (19,08%) es el muestreo con datos más bajos, en noviembre de 2017 (49,35%) es el muestreo con datos más altos y junio de 2019 (36,40%) aumenta respecto al primer, pero disminuye si lo comparamos con el periodo postestival.



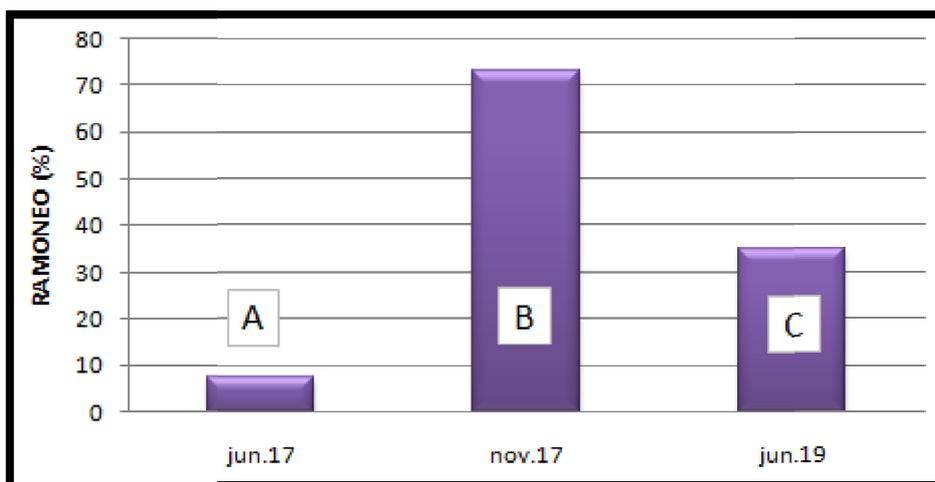
**Figura 28. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en *Pinus halepensis*. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 28** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 1923$ , nov.17  $n = 1923$  y jun.19  $n = 1923$ .

La especie *Quercus ilex* ha tomado unos datos extremadamente bajos en comparación al resto de especies (**Figura 29**). Se han observado diferencias significativas entre junio de 2017 (0%) y junio de 2019 (1,11%), aunque se han observado semejanzas de estos muestreos con el de noviembre de 2017 (0,28%).



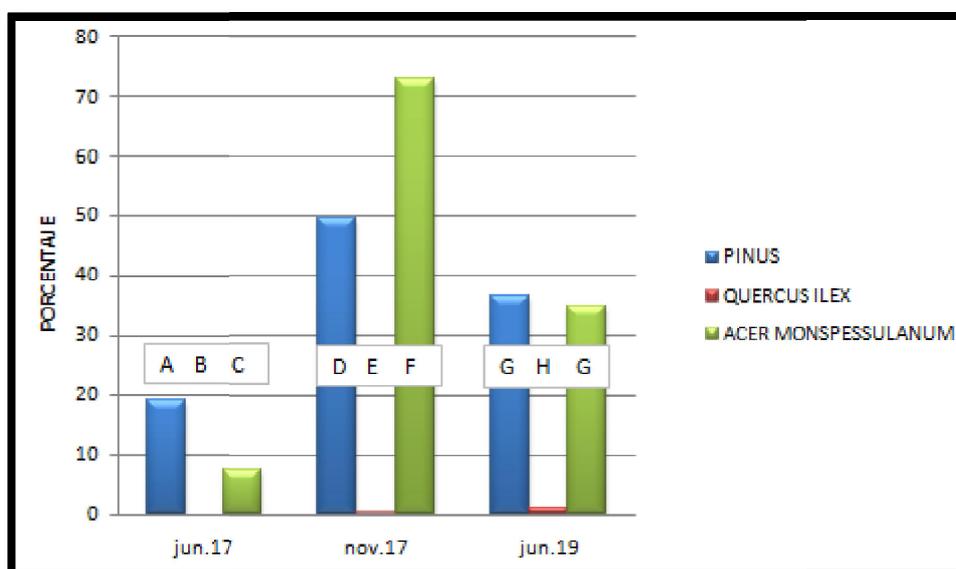
**Figura 29. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en la especie *Quercus ilex*. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 29** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 722$ , nov.17  $n = 722$  y jun.19  $n = 722$ .

La afeción de la fauna herbívora sobre la especie *Acer monspessulanum* está representado en la **Figura 30** donde mantiene una tendencia similar a la de *Pinus halepensis* (**Figura 28**), comienza con valores muy bajos en Junio de 2017 (7,52%), tiene un pico superior en el periodo postestival en noviembre de 2017 (72,88%) y tras dos años después (34,97%) mantiene datos superiores al primer muestreo pero inferiores al del periodo postestival.



**Figura 30. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en la especie *Acer monspessulanum*. Evolución temporal.** Fuente: **Elaboración propia**. La comparación estadística realizada para la **Figura 30** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Jun.17 n= 306, Nov.17 n= 306 y Jun.19 n= 306.

Se ha realizado una comparación estadística entre las diferentes especies (**Figura AIII 59** y **Figura 31**) y se ha comprobado que en el 2019 tanto *Pinus halepensis* (36,40%) como *Acer monspessulanum* (34,97%) mantienen semejanzas significativas entre ellas, mientras que existen diferencias significativas de estas dos especies con la especie *Quercus ilex* (1,11%).



**Figura 31. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en todas las especies. Evolución temporal.** Fuente: **Elaboración propia**. La comparación estadística realizada para la **Figura 31** ha sido la prueba de Chi cuadrado dos a dos en cada muestreo entre especies. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre especies en el muestreo ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indican la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17 n= 2951, nov.17 n= 2951 y jun.19 n= 2951.

La parte alta por un lado y la parte baja por otro, se han comparado estadísticamente entre sí mismas para observar si tienen alguna semejanza cronológica, (**Figura AIII 60** y **Figura AIII 61**), siendo negativa. Se ha realizado otro análisis estadístico para observar si existen

semejanzas entre el ramoneo en la parte alta y baja (Figura 32). El resultado es negativo, aparecen diferencias significativas entre ellas, siendo la parte alta la más afectada en todos los muestreos.

Los datos de individuos afectados por fauna herbívora representados en la Figura 32 son por orden de zona alta y zona baja: junio de 2017 un 18,37% frente a un 0%; noviembre de 2017 un 40,37% frente a un 34,12% y por último en junio de 2019 un 29,16% frente a un 21,10%.

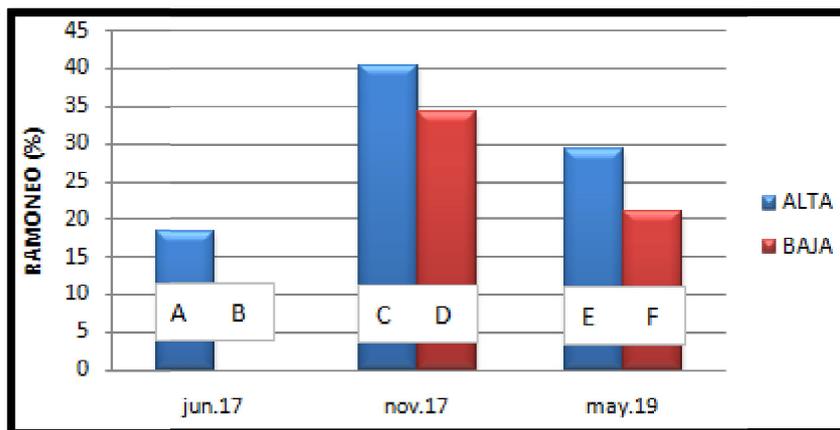
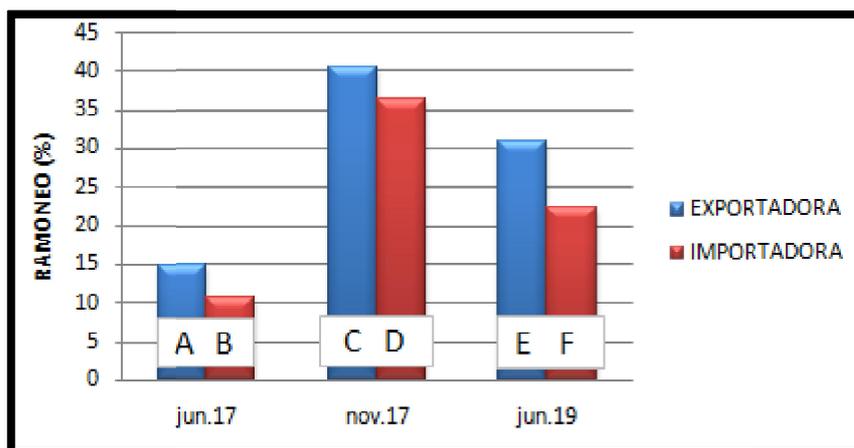


Figura 32. Ramoneo según altitud. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura 32 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada muestreo. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre las zonas de un muestreo ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17  $n = 3052$ , nov.17  $n = 3052$  y jun.19  $n = 3052$ .

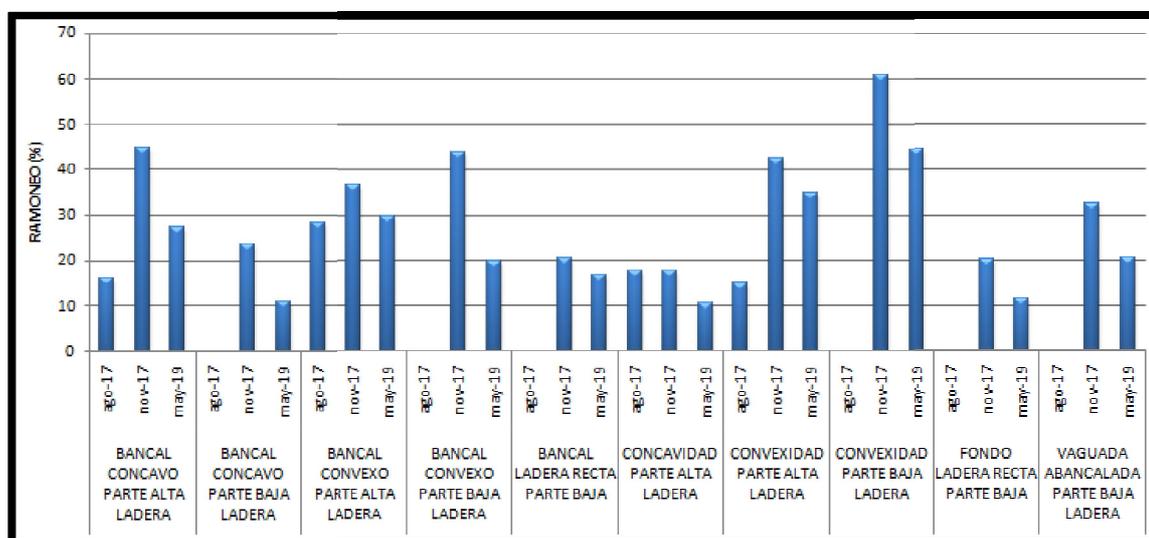
En lo que corresponde a la capacidad de transporte de agua, nutrientes y sedimentos, (exportadora e importadora), se ha realizado una comparación estadística entre las dos partes por separado para ver como evoluciona con el tiempo (Figura AIII 62 y Figura AIII 63). La comparación indica que hay diferencias significativas entre todos los muestreos. Además se han comparado las dos zonas entre ellas en la Figura 33. La zona exportadora es la que más se ve afectada ante los herbívoros en todos los muestreos. También mencionar que todos los muestreos al nivel del 95% de confianza han obtenido diferencias significativas.

Los datos obtenidos de afección de la fauna herbívora para la Figura 33 en primer lugar zona exportadora y posteriormente importadora son: junio 2017 un 14,71% y un 10,66%; noviembre de 2017 un 40,49% y un 36,24%; por ultimo en junio de 2019 un 30,79% frente a un 22,21%.



**Figura 33. Ramoneo según capacidad ecohidrológica. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura 33** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada muestreo. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17 n= 3052, nov.17 n= 3052 y jun.19 n= 3052.

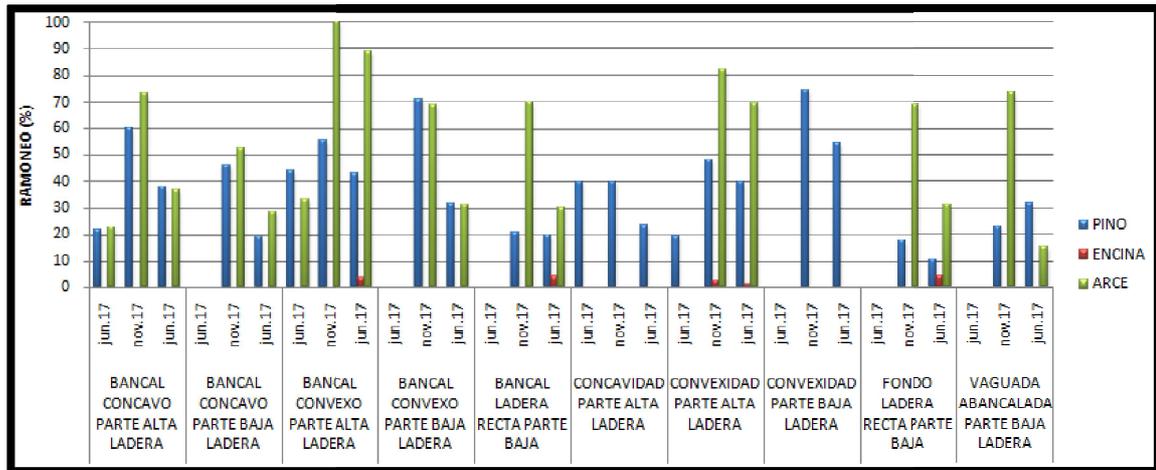
Se ha realizado una comparación de cómo afecta el ramoneo de los herbívoros a las diferentes unidades ambientales, **Figura 34**, y se ha podido observar como el muestreo de postestival es el que mayores datos obtiene y llamativo el tanto el dato de la unidad ambiental “Convexidad parte baja ladera” de noviembre del 2017 con 74,16% y el de las unidades de la parte baja que no aparezcan individuos con afecciones en el muestreo de junio de 2017.



**Figura 34. Ramoneo en cada unidad ambiental. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra para la **Figura 34** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concavidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.

Las especies elegidas para ser consumidas en cada unidad ambiental también han sido estudiadas, **Figura 35**, una clara preferencia por *Acer monspessulanum*, seguida muy de cerca por *Pinus halepensis* y prácticamente sin individuos afectados *Quercus ilex*. Llamativo el dato

de la unidad “Bancal convexo parte alta ladera” en la que en Noviembre de 2017 el 100% de todos sus individuos de la especie *Acer monspessulanum* estuvieron afectados.



**Figura 35. Ramoneo según especies, en cada unidad ambiental. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.**

El tamaño de la muestra para la **Figura 35** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concauidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.

## 4. Discusión

Para una repoblación forestal la fecha de plantación es considerada uno de los factores de mayor importancia en la supervivencia al final del primer año. (Royo et al., 2000; Navarro y Palacios, 2004). Las repoblaciones que utilizan especies que se encuentran en climas mediterráneos deben realizarse durante el periodo entre noviembre y enero, cuya probabilidad de éxito es superior. Un retraso excesivo en la fecha de plantación, puede comprometer la supervivencia final. (Navarro y Palacios, 2004).

Una repoblación forestal tiene un periodo de establecimiento variable, aunque generalmente se acepta que tiene una duración básica de dos años, con una mayor importancia del primero. En este periodo inicial, puede distinguirse una primera fase, especialmente crítica, en la cual el brinzal debe recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo e iniciar relaciones entre el suelo y sus raíces, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Margolis y Brand, 1990). Esto hace que los factores que afectan al estado hídrico de la planta en el momento de la plantación tengan una influencia decisiva en la supervivencia inicial (Burdet, 1990).

En una segunda fase, tras el restablecimiento de las funciones fisiológicas de la planta, el desarrollo morfológico cobra especial importancia en climas mediterráneos, donde la planta debe garantizarse el suministro hídrico antes de que llegue el primer verano, La zona mediterránea presenta una fuerte sequía en el periodo estival, dicha escasez de precipitaciones es uno de los mayores riesgos para la supervivencia inicial de una repoblación forestal (Vilagrosa *et al.*, 1997). El mayor o menor éxito en la consecución de estos objetivos es lo que constituye la respuesta en plantación, tradicionalmente cuantificada en términos de supervivencia y crecimiento. (Navarro R. et al, 2006).

Existen numerosas variables que afectan a la supervivencia de una repoblación forestal. Para South (2000), estas variables o factores son, en orden de importancia, las condiciones ambientales, el manejo de la planta, su morfología y su fisiología, a lo que habría que añadir los factores genéticos. Navarro (2006), siguiendo en el mismo sentido de los pasos de South (2000), menciona que los factores decisivos son la calidad de la planta, las condiciones meteorológicas, las condiciones edáficas, la fecha de plantación, el control de la vegetación herbácea y la heterogeneidad espacial.

Las condiciones ambientales (topografía, edafología, climatología, luminosidad, nutrientes, etc.) pueden llegar a ser extraordinariamente variables no sólo entre localizaciones o rodales, escala tradicionalmente empleada en las decisiones de restauración, sino también a

escalas inferiores (Maestre et al., 2003). Existen evidencias que dentro de un mismo rodal de plantación puede existir incluso mayor variación ambiental que entre diferentes rodales (Alloza, 2003, del Campo et al., 2005). Estos micrositios juegan un papel muy importante en la regeneración, supervivencia y crecimiento de plantas individualmente (Maestre y Cortina, 2002). La identificación de los lugares donde se presenta una conjunción favorable de factores ambientales podría suponer una importante mejora del establecimiento de plantaciones, principalmente en zonas desfavorables. (Navarro R. et al, 2006).

Los suelos de repoblación forestal también son un factor importante, pueden dividirse en dos tipos de uso previo del suelo: agrícolas (normalmente con condiciones edáficas menos limitantes), y forestales (con condiciones edáficas más limitantes), (Navarro R. et al, 2006).

Las preparaciones superficiales son uno de los procesos que incluirían al manejo de la planta, ya que determina como será plantado el brinzal en la zona. Los ahoyados manuales remueven poco volumen de suelo y ello puede obstaculizar el desarrollo radical (Serrada, 1993), aunque en ocasiones son la única alternativa. Navarro et al, (2006), encontraron relaciones significativas entre la supervivencia y el procedimiento de preparación del terreno, siendo mayor la supervivencia para las preparaciones del terreno de mayor intensidad. (Navarro et al, 2006).

La utilización de protectores horizontales sería otro de los procesos de manejo de la planta. Estos pueden producir efectos beneficiosos relacionados con la mejora de las condiciones de humedad del suelo, la reducción de la competencia por vegetación arvense, la disminución de la transpiración de la planta, así como la regulación de la temperatura del suelo (van Lerberghe y Gallois, 1997).

Como se puede observar, existen numerosas variables que producen el éxito en la repoblación forestal de un rodal. En este trabajo se ha pretendido continuar con las reflexiones de investigadores como Edo (2016), Fernandez (2017), Herranz (2017) y Gimeno (2018) que realizaron estudios para el mismo proyecto "Plantando Agua". Se ha pretendido introducir novedades que estos estudios no tenían en cuenta para que conllevaran a la obtención de conclusiones más certeras; como la agregación de nuevas variables que afectan al sistema como la senescencia o el ramoneo y ser el seguimiento más extenso en el tiempo de un mismo rodal por una única persona desde su plantación hasta la actualidad, con la que se obtiene mayor fiabilidad del manejo de datos.

Sin embargo, no ha sido posible la adición de todas las variables nombradas por South (2000) o Navarro (2006), es por ello que se debe comprender las limitaciones que conllevan estas conclusiones por la complejidad de las interacciones de todo el sistema.

La fecha de la plantación del rodal 11 fue la adecuada para el clima mediterráneo en donde se encuentra y según lo que establecen Navarro y Palacios (2004) en su estudio ya que comprendió entre noviembre 2016 y febrero de 2017. Pudiendo ser un buen comienzo que derivó en las altas tasas de supervivencia durante el primer año (Figura 13).

En la repoblación del rodal 11, se tienen los datos de supervivencia de estos primeros meses sumamente importantes para conocer la eficiencia de la repoblación (Figura 13), En Junio del primer año (2017), (pocos meses después de su plantación) se obtiene una tasa del 90,82%. Gracias a la Figura 36 podemos observar cómo las precipitaciones durante los primeros meses de plantación son adecuadas y ayudan a comprender la notable supervivencia que se obtiene en el rodal, como ya afirma Burdet (1990).

Durante el periodo estival, tanto en junio como en agosto, dos de los meses más calurosos del año, precipitaron 78 y 97 mm de agua respectivamente, datos que se salen de lo corriente en este tipo de climas en los que las estaciones más lluviosas suelen ser primavera y otoño, favoreciendo notablemente de nuevo a la supervivencia de las especies del rodal (86,14% tras el periodo estival), datos adecuados a lo que mencionan Navarro et al en 2006 y Vilagrosa et al en 1997. Las temperaturas fueron benignas (Figura AIV 64) y acorde con los patrones de la zona (Figura 10). Sí que es cierto que la supervivencia a pesar de ser alta, baja un 4,68%, esto es producido en gran parte, por la actuación de la fauna herbívora del entorno. Principalmente la cabra montesa (*Capra pyrenaica*) y conejos (*Oryctolagus cuniculus*), que como ya se observa en la Figura 27 aumenta un 25,7% en ese intervalo de tiempo, pasando de 12,77% en Junio de 2017 a un 36,4% en Noviembre de 2017.

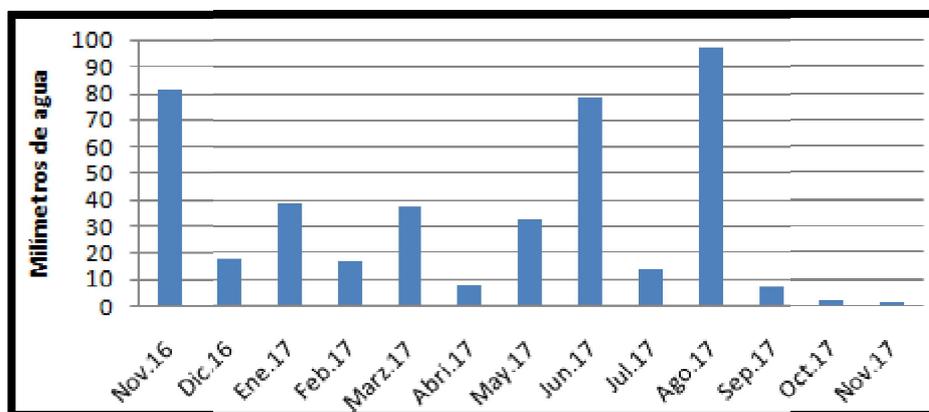


Figura 36. Precipitación durante los primeros meses de la repoblación. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Aragón.

En el muestreo de 2019 la supervivencia cayó notablemente tomando el valor del 65,17% (Figura 13). Su descenso ha sido casi de un tercio más bajo. Este hecho puede ser debido al descenso de la lluvia estival en el verano de 2018 (Figura 37) si es comparada con la del 2017 (Figura 36), riesgo que menciona Vilagrosa et al (1997). Además la plantación sufre un largo periodo de sequía desde septiembre de 2017 hasta abril de 2018, 7 meses en los que únicamente precipitaron 66,2mm de agua cuando lo corriente en la zona es que precipiten unos 210mm (Figura 9). En cuanto a las temperaturas registradas durante el periodo entre diciembre 2017 hasta junio 2019 (Figura AIV 65) fueron similares a las del 20016-2017 (Figura AIV 64) y a lo acostumbrado en la zona (Figura 10), por lo que las temperaturas no deberían haber afectado negativamente a la plantación. La acción de la fauna herbívora también sería un factor condicionante, ya que no toma valores tan elevados como en noviembre de 2017 pero llega hasta el 26,70% de los individuos afectados (Figura 27).

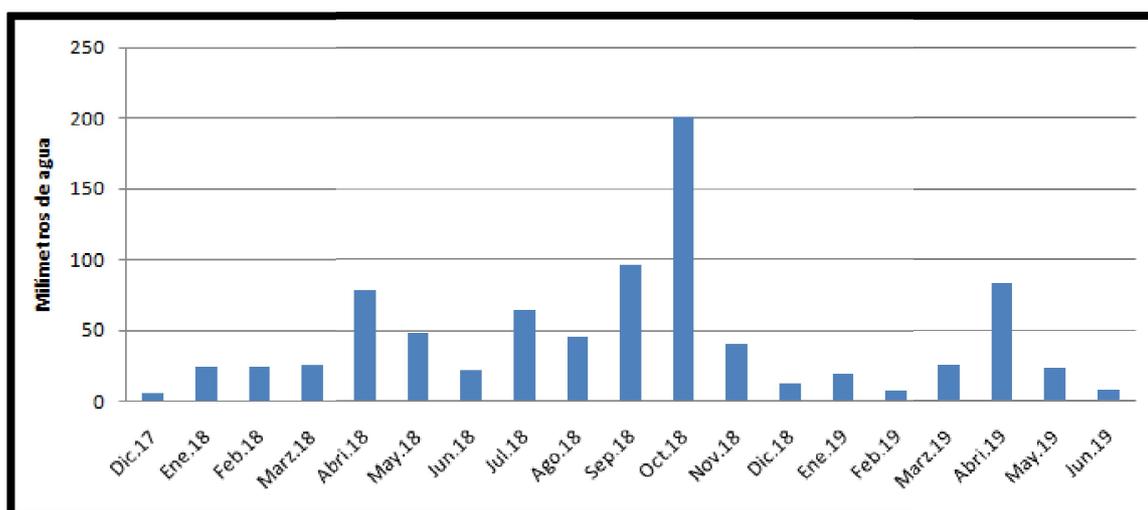


Figura 37. Precipitación desde diciembre 2017 hasta junio 2019 en el rodal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Aragón

Las condiciones ambientales, tan diferentes dentro de un mismo rodal y de las cuales no existen apenas estudios, y son nombradas por Maestre et al (2003), Alloza J.A. (2003), del Campo et al (2005), entre otros, se han querido tener muy en cuenta en la realización de este estudio. Estos autores las denominan micrositiros, en este estudio se ha empleado el término de unidad ambiental. Se han pretendido diferenciar por su capacidad ecohidrológica, altura y su naturaleza, brindando una valiosa información.

En cuanto a la supervivencia, (Figura AI 41 y Figura 15) se puede observar que la unidad ambiental con mayor tasa en todos los muestreos es la importadora “Bancal ladera recta parte baja” con 98,03%, 95,10% y 79,41%, siendo superior en el periodo estival y

enormemente superior al resto tras dos años, en la que la tasa global del rodal esta en 65,17%. Esta unidad cabe comentar que es la única que aparece en el SIGPac como parcela de pasto y se puede observar in situ, vestigios de un antiguo manejo agrícola. En el resto existía un denso bosque de *Pinus nigra*. Este hecho puede confirmar la teoría de Navarro (2006) cuando hace una diferenciación en los suelos de repoblación, asegura que el éxito es más propenso en suelos donde anteriormente eran agrícolas que en los que había masa forestal.

Las unidades que peores resultados dieron tras el periodo estival fueron la exportadora Convexidad parte alta ladera (94,52%, 81,06%) y la importadora Vaguada abanacalada parte baja ladera (89%,83,03%) (Figura 15), esto podría estar derivado por dos situaciones diferentes.

- La primera sería que Convexidad parte alta ladera es una de las unidades que mayor afección está sufriendo por parte de la fauna herbívora (Figura 34).
- La segunda, Vaguada abanacalada parte baja es una unidad ambiental claramente importadora de agua, nutrientes y sedimentos. Esto ha derivado a que sea una de las que más regeneración natural aparezca, de especies como *Genista scorpius*, *Rosa canina* y *Thymus vulgaris* entre otros. La aparición de tantos individuos crea una competencia que conlleva a la disminución de la tasa de supervivencia.

Tras el periodo de dos años, nuevamente la unidad ambiental que peores tasas mostro fue la importadora Vaguada abanacalada parte baja con un 52,7% quizá por lo mencionado anteriormente (Figura AI 41).

El método de repoblación fue un ahoyado con maquinaria, según Serrada (1993) este método puede dar problemas radiculares al brinzal. En el rodal 11, la morfología del terreno impide que la totalidad del rodal sea manejado con maquinaria pesada, aunque en ciertas zonas sí que sería factible. En un primer lugar no parece haber sido un problema, la supervivencia del primer año es muy adecuada, sí que es cierto que a los dos años la supervivencia bajo hasta un 65,17% (Figura 13).

En cuanto a lo que geomorfología y capacidad de transporte de agua y nutrientes se refiere, en las zonas importadoras se obtienen datos con la tasa de supervivencia algo superior (Figura 17), aunque no existen diferencias significativas entre zonas exportadoras e importadoras. Es posible que el estudio de esta variable durante un intervalo de tiempo más extenso pueda arrojar conclusiones definitivas.

Por otro lado, en cuanto a la altitud, después del periodo estival no aparecen diferencias entre zona alta y baja teniendo en ambas una tasa de supervivencia de entorno el

87%. A los dos años de la plantación sí que aparecen diferencias significativas entre ellas, la zona alta con una tasa de supervivencia del 66,81% siendo superior a la de la zona baja con un 63,81%. (Figura AI 50 y Figura 20). Esta diferencia en cuanto a la supervivencia del rodal dependiendo de la altitud en el 2019 es consecuencia directa de la especie *Acer monspessulanum* que ha sido la única de las tres empleadas que se ha visto claramente afectada (Figura 22), obteniendo tasas de 77,77% en la zona alta frente a 49,12% en la zona baja. El motivo por el cual *Acer monspessulanum* se ve influenciado por la altitud no se ha podido esclarecer, posiblemente derivado por las limitaciones del presente trabajo ante la complejidad de las diferentes interacciones que contiene el sistema del rodal.

La supervivencia global de cada especie en el rodal ha tenido una tendencia diferente (Figura 14). Todas a excepción de *Quercus ilex* han tenido diferencias significativas en su supervivencia tras el periodo estival y todas sin excepción han tenido diferencias significativas en comparación con el último muestreo. Tras el período estival *Pinus halepensis* ha obtenido una tasa de 86,73%, *Quercus ilex* una tasa de 94,74% y *Acer monspessulanum* ha obtenido una tasa de 90,52%. Tras dos años al momento de la plantación, la especie que mejor se ha adaptado al entorno ha sido *Quercus ilex* (75,76%), después *Pinus halepensis* (65,16%) y por último *Acer monspessulanum* (61,76%) (Figura 14). Datos similares a los obtenidos por Gimeno (2018) en la especie *Quercus ilex* (70%) y *Acer monspessulanum* (67%) en otros rodales del mismo proyecto. Es mencionable la importancia de la supervivencia del *Pinus halepensis* ya que esta especie en esta región se encuentra en altitudes inferiores (800-1.000 m) sin embargo, en el proyecto Plantando Agua se consideró que –dado el incremento de temperaturas (registrado y previsto) debido al Cambio Climático- sería interesante introducirla a mayor altitud (1.200-1.300 m donde se sitúa el rodal 11). La tasa de supervivencia obtenida en estos dos primeros años apunta a su viabilidad en esta altitud, aunque habrá que esperar a su respuesta a eventos de temperaturas bajas más extremas. Este hecho va acorde con lo expuesto por Gimeno (2018) en donde encontró indicios de que *Pinus sylvestris*, especie que se encuentra dentro de su área habitual de distribución, este sufriendo mortalidades de hasta el 96% y con un alto estrés hídrico. Además, Pina (2017) añadió en su estudio, el hecho de que se están encontrando individuos sanos de *Pinus sylvestris* cada vez a mayor altura.

Tras el período estival *Pinus halepensis* tuvo diferencias significativas en su supervivencia entre la parte alta del rodal (87,96%) respecto a la zona baja (83,42%), (Figura AI 51) y lo mismo le sucede a la especie *Acer monspessulanum* con esta variable (Figura AI 51). Además, *Acer monspessulanum*, obtiene diferencias significativas dependiendo de las zonas según su capacidad ecohidrológica, (Figura 18), siendo la importadora la que obtiene tasas

más elevadas de supervivencia, reflejando que es la especie utilizada con mayor sensibilidad a las necesidades hídricas (92,38% frente a exportadoras 78,9%).

La senescencia vegetal es otra de las variables puesta en escena en este trabajo. En el rodal sería conveniente que esta variable tuviera un seguimiento con un intervalo de tiempo superior, ya que dos años es un periodo de tiempo escaso como para obtener conclusiones definitivas. El proceso parece tener una tendencia cada vez menor (**Figura 23**), ya que en el primer muestreo lo presentan un 4,22% de los individuos y en el último muestreo un 3,54% sin diferencias significativas, tampoco las encontramos según ecohidrología y altura (**Figura 26** y **Figura 25**). No se ha tomado en cuenta los valores obtenidos de senescencia en el muestreo de noviembre de 2017 por la característica caducifolia que presenta *Acer monspessulanum* que podría haber sido capaz de crear confusión y muestrear erróneamente.

La afección de la fauna herbívora a la restauración forestal es la última de las variables en cuenta de este trabajo. Es conocida la importante expansión que ha experimentado *Capra pyrenaica* en las últimas décadas (**Figura AV 70**, **Figura AV 71** y **Figura AV 72**). Los censos realizados en el marco del proyecto Plantando Agua arrojan unas densidades de 3,3 individuos/km<sup>2</sup> (Herrero J., et al 2015 y 2017). La expansión de *Capra pyrenaica* en la zona se ha visto favorecida por el incremento de las superficies de pasto que han aparecido después del incendio. La tasa global de afección por la acción de los herbívoros en el rodal se incrementa del primer muestreo (12,78%) al último (26,70%) y tomando valores realmente altos en el periodo postestival (38,47%), (**Figura 27**). El hecho de que aumente tanto el valor postestival sucede porque los herbívoros tienen una menor cantidad de pasto para abastecerse en verano ya que éste se está secando, por consiguiente, intentan obtener alimento de otros lugares como son los tallos tiernos de la joven repoblación forestal que se está estudiando.

La especie *Acer monspessulanum* es la más afectada. Tiene valores en el periodo postestival de 72,87% y tras dos años de 34,97% de individuos afectados (**Figura 30**).

La especie *Pinus halepensis* es la segunda más afectada con valores en el periodo postestival de 49,35% y tras dos años de 36,40% (**Figura 28**).

En cuanto a la especie *Quercus ilex* es la menos afectada con una extremada diferencia (**Figura 31**). Toma valores postestivales de 0,27% y tras dos años de 1,10% (**Figura 29**). Esto viene dado por una diferencia a la hora de su plantación respecto al resto. Los protectores horizontales que mencionan van Lerberghe y Gallois (1997). El protector empleado fue del tipo Tubex como el que aparece en la **Figura 38**. Todos los individuos de la especie fueron

colocados con dicho protector lo que provocó un efecto notablemente beneficioso, obteniendo una supervivencia del 75,76% en el año 2019, (Figura Al 40) y otro efecto que no es mencionado por Lerberghe y Gallois (1997) que es el impedimento que les ofreció a no ser objetivo de la fauna como alimento, llegando a datos ínfimos, como el 1,10% en el año 2019, (Figura 29), muy diferentes a las otras especies sin el protector (Figura 31).



Figura 38. Individuos de la especie *Quercus ilex* con protector horizontal en el rodal 11, La Zoma (Teruel). Fuente: Elaboración propia.

La actuación de la fauna herbívora es diferente según se trata de zona exportadora o zona importadora en todos los muestreos, las zonas exportadoras presentan mayor tasa de afectación pudiendo llegar casi al 10% de diferencia como en el año 2019 que hubo un 30,79% en exportadoras frente a un 22,21% en importadoras (Figura 33). Esto podría deberse a que en las zonas exportadoras existe una menor regeneración natural de especies como *Genista scorpius* y *Rosa canina* entre otras, que se caracterizan por tener púas como mecanismo de defensa, lo que haría que los herbívoros, sobre todo grandes ungulados como la *Capra pyrenaica* se sientan más incómodos en la zona importadora.

También aparecen diferencias significativas entre las zonas diferenciadas por la altitud. Las zonas altas muestran en todos los muestreos mayores tasas de ramoneo. Tanto es así que en el primer muestreo no aparecieron individuos afectados en la zona baja y un 18,37% en la zona alta (Figura 32). Esto podría ser debido al mayor campo de visión y dominación del terreno que obtiene la fauna en la zona alta, para una pronta capacidad de respuesta ante un peligro y por las costumbres de los animales en el camino a seguir para la entrada y salida de la zona que posiblemente sea por la zona alta.

En cuanto a las unidades ambientales se puede observar que aumenta la acción de los herbívoros en todas ellas durante el periodo estival y un ligero descenso en comparación a esta época a los dos años (**Figura 34**).

En la actualidad, el aumento de las poblaciones de ungulados que se alimentan en parcelas agrarias y repoblaciones forestales, es una problemática que causa daños derivados del ramoneo y provoca elevadas cantidades de pérdida de dinero. El bagaje de soluciones contemporáneas ante este problema suelen ser costosas (vallado de parcelas), trabajosas (protectores horizontales), poco ecológicas (cientos de protectores de plástico olvidados, barreras que rompen la conectividad del paisaje para la fauna...) o la suma de todas ellas. Ante esta situación se ha diseñado con la ayuda de José María Deoiz una solución para evitar el ramoneo y la acción de ungulados en el rodal de una manera económica, sencilla y ecológica. Se ha perfeccionado la idea de un comúnmente llamado “espantapájaros” y se le ha denominado ahuyenta-fauna (**Figura 39**). El ahuyenta-fauna se basa en la idea de provocar temor en los herbívoros y que no se aproximen a la parcela, para ello; es capaz de oscilar sobre sí mismo, emitir ruido y tener la misma presencia que un ser humano, además su facilidad a la hora de puesta y retirada permite colocarlo en las épocas del año susceptibles de ramoneo y que la fauna no se acostumbre a su presencia. La idea ha sido llevada a cabo y se han creado unos prototipos que se han empleado para evitar los daños provocados por *Capreolus capreolus* en varias fincas agrarias de *Prunus dulcis* en el termino de Tabuenca desde un año después que se plantaron (2016) hasta la actualidad, con unos efectos notablemente beneficiosos (**Figura AV 67** y **Figura AV 68**).

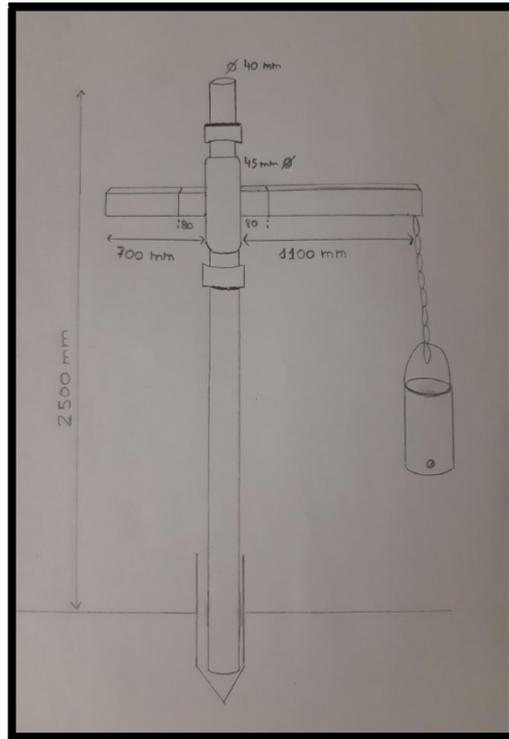


Figura 39. Planos del espanta-fauna. Fuente: Elaboración propia

En la misma dirección se ha pretendido evitar los daños provocados por *Oryctolagus cuniculus*. Durante los muestreos se ha observado como en la zona conviven numerosas aves rapaces, por lo que se ha ideado la colocación de unos posaderos alternados dentro del propio rodal, que supongan un atrayente para las rapaces que serán una amenaza para estos pequeños herbívoros y disminuirán los daños producidos por estos. Los posaderos deberán ser de unos 3-3,5 metros de alto y de madera para mayor comodidad de las aves (Figura AV 69).

Con estas dos técnicas se espera que la mortalidad derivada de la fauna herbívora disminuya considerablemente en el rodal.

## 5. Conclusiones

1. La supervivencia global del rodal tras el periodo estival en el 2017, 10 meses después de su plantación, fue de 86,14%, obteniendo todas las especies unas tasas de supervivencia altas, *Pinus halepensis* 86,73%, *Quercus ilex* 94,74% y *Acer monspessulanum* 90,52%. Siendo *Quercus ilex* la única que no se vió afectada significativamente por el periodo estival.
2. La evolución en junio de 2019, 28 meses después de la plantación, la tasa de supervivencia en el rodal ha sido de 65,17%, obteniendo todas las especies unos valores de supervivencia medios. *Pinus halepensis* 65,16%, *Quercus ilex* 75,76% y *Acer monspessulanum* 61,76%.
3. Se observa un efecto de las precipitaciones sobre la supervivencia. Una fuerte sequía desde septiembre de 2017 hasta marzo de 2018, (precipitaron 66,2mm cuando lo esperable habría sido 210 mm aproximadamente), y un descenso de las precipitaciones durante el periodo crítico estival durante el 2018, (132mm), en comparación a las del 2017, (190mm) podrían haber sido dos de las causas del descenso de la supervivencia en el 2019.
4. *Quercus ilex* es la especie que ha mostrado una tasa de supervivencia más elevada (75,76%), la cual no ha mostrado diferencias significativas según el carácter importador o exportador del micrositio.
5. En el 2019 la tasa global de supervivencia es superior con diferencias significativas en la zona alta (66,81%) frente a la zona baja (63,81%). No se han registrado diferencias significativas en la supervivencia según la altitud en las especies a excepción de *Acer monspessulanum* que obtuvo un 77,77% en la zona alta frente a un 49,12% en la baja.
6. La unidad ambiental que valores más altos de supervivencia está obteniendo, es la importadora “Bancal ladera recta parte baja” (95,10% tras el periodo estival de 2017 y 79,41% tras dos años de la plantación). Se trata de un antiguo bancal de cultivo, con baja afectación por la fauna herbívora.

7. La unidad que ha registrado los valores más bajos de supervivencia es la importadora "Vaguada abancalada parte baja", (83,03% tras el primer periodo estival y 52,7% a los dos años de la plantación). Se trata de unidad con una alta tasa de regeneración natural.
8. El ramoneo de la cabra (*Capra pyrenaica*) ha afectado notablemente a la supervivencia de las especies que carecían de protector horizontal.
9. Herbívoros como *Oryctolagus cuniculus* y en especial *Capra pyrenaica* están afectando negativamente al crecimiento y supervivencia de la restauración. En el periodo estival se vieron afectados el 38,47% de los individuos. A los dos años de la plantación se vieron afectados el 26,70% de los individuos.
10. En el periodo estival la especie *Acer monspessulanum* fue la especie más afectada por la fauna herbívora, llegando hasta el 72,87% de los individuos afectados. Tras dos años de la plantación la especie más afectada fue *Pinus halepensis* con 36,40%. La especie menos afectada por este hecho es *Quercus ilex* tomando valores de un 1% de afectados gracias a los protectores horizontales.

## 6. Bibliografía

Aguilar, D. (2017). Regeneración natural post-incendio del *Pinus pinaster* Aint. En el término municipal de La Zoma, Teruel. Escuela politécnica superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.

Alloza, J.A. (2003). "Análisis de repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana. Desarrollo de criterios y procedimientos de evaluación". Tesis Doctoral. 301 pp. Univ. Politécnica de Valencia. Valencia.

Arenas, J. (2017). "¿Qué son las especies pirófilas o pirófitas? Adaptaciones a los incendios". Restauración de ecosistemas.

Badía, D. y Martí, C. (2003). "Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils". *Arid Land Research and Management*. 17: 23-41

Badia D.; Zufiurre R.; Girona A.; Mora J.L.; Armas C.M.; Martí C. y Ortiz O. (2018). "Effects of prescribed burning for pasture reclamation on soil chemical properties in subalpine shrublands of the Central Pyrenees (NE-Spain). *Science of the total environment*. Volume 644, Pages 583-593.

Barrera, J.; Ríos, H. (2002). "Acercamiento a la ecología de la restauración". *Perez Arbelaezia* (13) 33-46.

Bradshaw, A. D. (1984). "Ecological principles and land reclamation practice". *Landscape Planning*. 11:35-48.

Bodí, M.B., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Doerr, S.H. (2012). "Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suleco de la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, volumen (58), 33-55.

Burdett, A.N. (1990). "Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock". *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 415-427.

Cerdà, A. (1993): "Incendios forestales y estabilidad de los agregados". *Cuadernos de Geografía*, nº 53, 1-16.

Cerdà, A. y Bodí, M. B. (2007). "Erosión hídrica en suelos afectados por incendios forestales", en *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, (Mataix-Solera, J. coord.). Alcoi, Edit. Caja de Ahorros del Mediterráneo CEMACAM, 71-118.

Cipollini, K.; Maruyama, A.; Zimmerman, C. (2005). "Planning for restoration: A decision Analysis Approach to prioritization". *Restoration Ecology*. 13(3):460-470.

Caribello, J. (2003). "Restauración de Ecosistemas a partir del manejo de la vegetación, Guía Metodológica". Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Colombia. 96 pp.

Contratas Ancar S.L. (2013). "Plan Director "Plantando Agua" - Construyendo los montes del SXXI para un nuevo escenario de cambio climático y de cambios sociales en la comarca de las Cuencas Mineras (Teruel)-".

Debano, L. F. (1981): "Water repellent soils: a state-of-the-art". Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. United States Department of Agriculture. F. S., p. 21, , Berkeley (California).

Del Campo, A.D.; Hermoso, J.; Cabrera, A.M.; Ibáñez, A.J.; Navarro, R.M. (2005). "Influencia de la variación local de la estación en la restauración forestal". *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 20: 79-85

Doerr, S.H., Shakesby, R.A. y Walsh, R.P.D. (2000): «Soil Water repellency: Its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance». *Earth Science views*, nº 51, 33-65.

Edo, T. (2016): "Evaluación y seguimiento de la restauración ecológica desarrollada en los montes del municipio turolense de La Zoma tras el incendio de 2009". Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.

Enguita, G. (2017). Análisis histórico del balance de agua azul u agua verde en los montes del T. M. de La Zoma (Te) afectados por el incendio del año 2009. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.

Espigarest, Nicolau J.M. y Rey J.M. (2003). "Restauración de ecosistemas mediterráneos". Colección Aula Abierta. Universidad de Alcalá. Madrid.

Fernandez, A. (2017). "Análisis de la supervivencia y el crecimiento de la plantación forestal del año 2015 en los Montes de Utilidad Pública de La Zoma (Teruel)". Escuela Politécnica Superior de Huesca. Huesca.

Gargallo Saura, J. (2013). "Plano n.º 6: Geología y edafología". En Plan director "Plantando Agua": Construyendo los montes del siglo XXI para un nuevo escenario de cambio climático y de cambios sociales en la comarca de las Cuencas Mineras (Teruel).

Gimeno, E. (2018). "Evaluación de la restauración en los montes de La Zoma (Teruel) tras un incendio forestal". Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.

Guerra, A. (1968). "Mapa de suelos de España". Consejo Superior de Investigaciones científicas. Madrid.

Gutiérrez Elorza, M. (1985). La Geología y los Recursos Minerales de la provincia de Teruel. Teruel, IET.

Herranz, D., (2017). Evaluación de la plantación forestal durante el periodo 2014-2017 en los montes públicos de La Zoma (Teruel). Escuela politécnica superior de Huesca. Universidad de Zaragoza. Huesca.

Herrero J., García-Serrano A., Ferreres J., Marco J., Prada C. (2015). "Análisis de los conteos de cabra montesa *Capra pyrenaica* en La Zoma y zonas aledañas (Teruel) y nuevo planteamiento metodológico del seguimiento poblacional". ECOlogía y DESarrollo. Zaragoza.

Herrero J., García-Serrano A., Ferreres J., Marco J., Prada C. (2017). "Estimación poblacional de cabra montesa *Capra pyrenaica* hispánica en La Zoma y zonas aledañas, Teruel". ECOlogía y DESarrollo. Zaragoza.

Instituto Tecnológico Geominero de España, (1989): "Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería". Serie Ingeniería ambiental. Ministerio de Industria y energía. Madrid.

Jaksic F. y Fariña J. (2015). "Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto". Anales Instituto Patagonia (Chile). Vol. 43(1):23-34

Jones, C.G., Lawton, I.H y Shachak, M. (1994). "Organisms as ecosystem engineers". Springer-Verlang. Nueva York.

López A. y López M. (2015). "Los incendios forestales en España. Decenio 2006-2015". Madrid 2015. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Maestre, F.T., Cortina, J., Bautista, S., Bellot, J. y Vallejo, V.R. (2003). "Small-scale environmental heterogeneity and spatial-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem". Ecosystems 6: 630-643.

Maestre, F. T. y J. Cortina. (2002). "Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe". Plant and Soil 241: 279-291.

Mataix-Solera, J., Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C. Y Moral, R. (2002): "Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a Pinus halepensis forest in Mediterranean environment". *International Journal of Wildland Fire*, nº 11: 107-114.

Mataix-Solera, J. y Cerdá A. (2009): "Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos". *Càtedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de Valencia*, pp.25-53.

Margolis, H.A, y Brand, D.G. (1990). "An ecophysiological basis for understanding plantation establishment". *Can. J. For. Res.* 20:375–390.

Navarro, R.M., del Campo, A.D. and Cortina, J. (2006). "Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta". *Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid*.

Navarro, R. M.; Palacios, G. (2004). "Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de Pinus pinea" *L. Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 17: 199-204.

Neary, D. G., Klopatek, C., C., DeBano, L. F. y Ffolliott, P. F. (1999): "Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis". *Forest Ecology and Management*, nº 122, 51-71.

Ortiz-Solorio, C.A.; Gutiérrez-Castorena, M.A.; y Gutiérrez-Castorena E.V.(2014). "Claves para la taxonomía de suelos".( U.S.D.A. ) *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Montecillo, Texcoco, Estado de México*.

Pausas, J. G. (2004): "La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo", en *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo (Vallejo, R. coord.)*. Valencia, Edit. CEAM, 47-64.

Pausas, J.G. y Gimeno T.(2010): "Fuego y evolución en el mediterráneo". *Investigación y ciencia*. Agosto 2010, paginas 56-63.

Peralta N.A. (2016). "Estrategias para incrementar la funcionalidad de las aves en la restauración ecológica de bosques subandinos". *Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Bogotá, Colombia*.

Perez, F (2002): "Paisajes forestales y fuego en el prepirineo occidental oscense. Un modelo regional de reconstrucción ambiental". *Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*.

Peña, J. L., Cuadrat, J. M., y Sánchez, M. (2002). El clima de la provincia de Teruel. Cartilla turolense, Instituto de Estudios Turolenses (CSIC), Teruel.

Pina, V. (2017). Estudio de la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. tras el incendio Aliaja-Ejolve (2009), en el T.M. de La Zoma (Teruel). Análisis de los factores bióticos y abióticos de control. Escuela politécnica superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

QGIS Development Team, (2013). "QGIS Geographic Information System". Open Source Geospatial Foundation. <http://qgis.osgeo.org>

R CoreTeam (2019). "R A language and environment for statistival computing foundation for Statistical Computing", Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

Raison, R. J., Khanna, P. K. y Woods, P. V. (1984): "Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires". Canadian Journal of Forest Research, nº 15,132-140.

Royo, A.; Gil, L.; Pardos, J.A., (2000). "Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco". Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 10: 57- 62.

Serrada Hierro, R. (1993). "Apuntes de repoblaciones forestales". Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM, Madrid. 398 pp.

Simon J.L., Calvo J.P. y Alcalá L. (2010). "Geología de la provincia de Teruel". Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Zaragoza.

Society for Ecological Restoration International (SER). (2004). "Principios de SER International sobre la restauración ecológica". Disponible: [www.ser.org/](http://www.ser.org/)

Velez, R (2000): "La defensa contra los incendios forestales. Fundamentos y experiencias". McGraw-Hill. Madrid.

Van Andel, J. y Aronson, L. (2006). "Restoration Ecology". Blackwell Publishing, UK.

Van Lerberghe y Gallois, (1997). "Les objectifs cultureux du paillage et ses conséquences". Fôret Enterprise, 116: 26-30.

Van Lerberghe (2014). Proteger los árboles contra los daños de la fauna cinegética Los protectores de malla. Madrid.

Vargas, O. (2011) "Restauración ecológica: biodiversidad y conservación". Acta Biológica Colombiana, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. vol. 16, núm. 2, pp. 221-246. Bogotá, Colombia

Vilagrosa, A.; Seva, J.P.; Valdecantos, A.; Cortina, J.; Alloza, J.A.; Serrasolsas, I.; Diego, V.; Abril, M.; Ferrán, A.; Bellot, J.; Vallejo, V.R. (1997). "Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana". En: Vallejo, V.R. (ed.). La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana. CEAM, Valencia. pp: 435-556.

Vilagrosa, A.; Caturla, R.N.; Hernandez, N.; Cortina, J.; Bellot, J.; Vallejo, V.R. (2001). "Reforestación en ambiente semiárido del sureste peninsular. Resultados de las investigaciones desarrolladas para optimizar la supervivencia y el crecimiento de especies autóctonas". Actas del III Congreso Forestal Español, Mesa 3: 213-219.

## 7. Anejos

### 7.1. Anejo I: Resultados de supervivencia

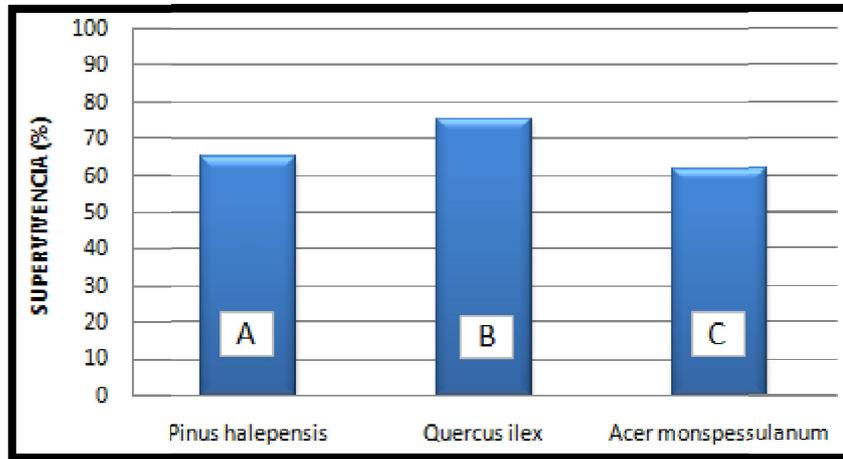


Figura AI 40. Supervivencia dependiendo de la especie en año 2019. Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura AI 40 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas entre las especies ( $p \leq 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n = 1923$ , *Quercus ilex*  $n = 722$  y *Acer monspessulanum*  $n = 306$ .

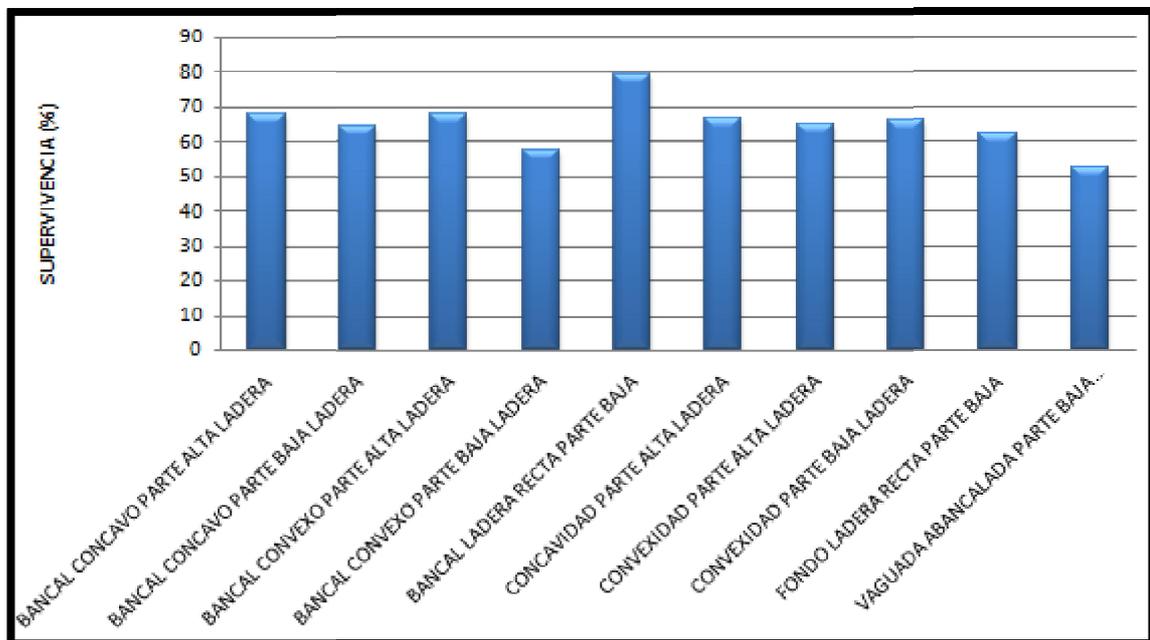
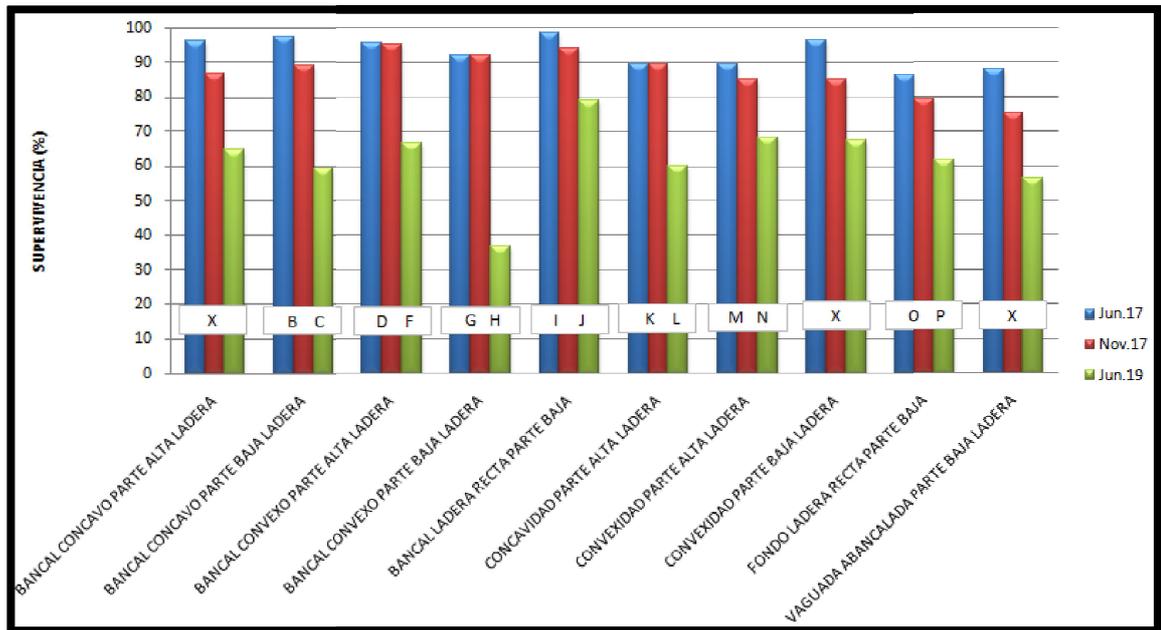
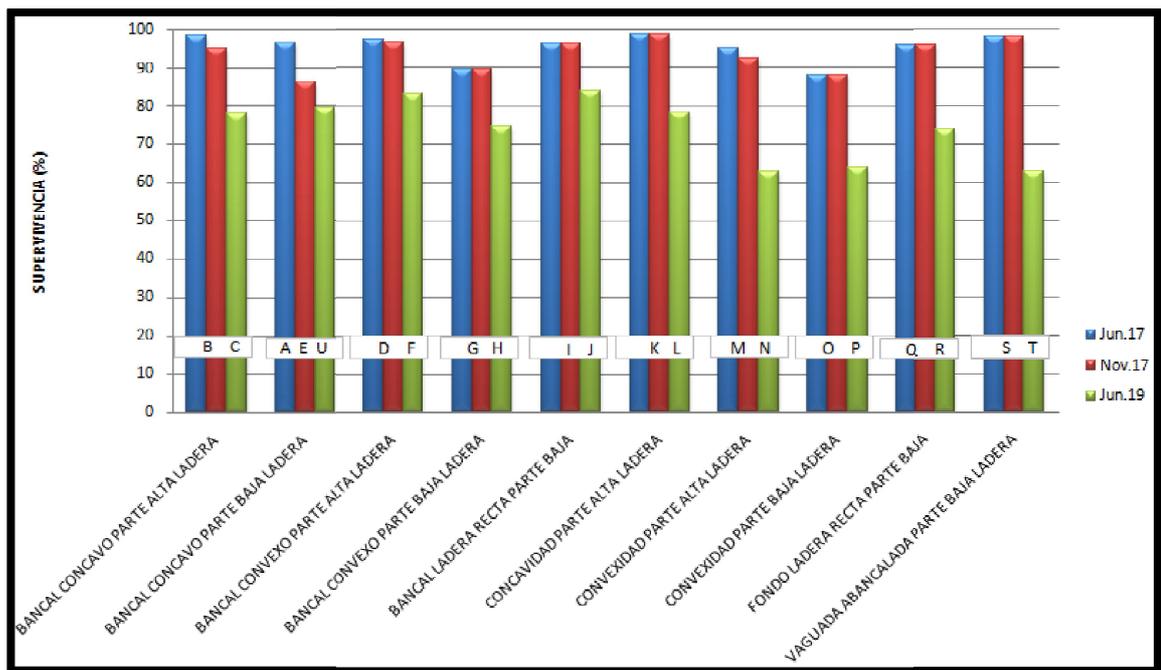


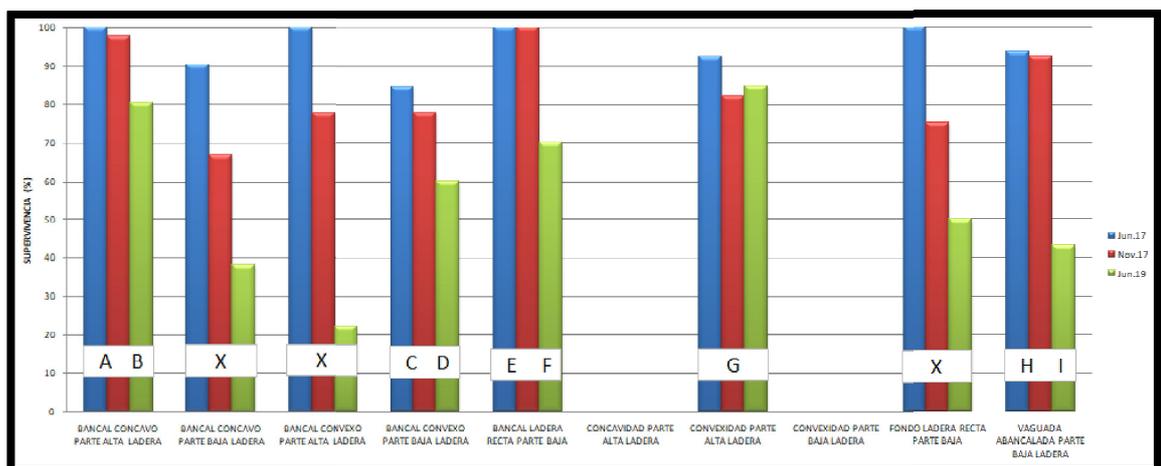
Figura AI 41. Supervivencia en cada unidad ambiental en el año 2019. Fuente: Elaboración propia. El tamaño de la muestra en la Figura AI 41 es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 804$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 118$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 453$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n = 132$ , Bancal ladera recta parte baja  $n = 102$ , Concauidad parte alta ladera  $n = 153$ , Convexidad parte alta ladera  $n = 713$ , Convexidad parte baja ladera  $n = 146$ , Fondo ladera recta parte baja  $n = 154$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n = 277$ .



**Figura AI 42. Supervivencia de la especie *Pinus halepensis* en cada unidad ambiental durante todos los muestreos. Fuente: Elaboración propia.** La comparación realizada para la **Figura AI 42** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos en cada unidad ambiental. La letra “X” indica la existencia de diferencias significativas en todos los muestreos de la unidad ambiental ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indica diferencia significativas al entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en varios muestreos indica que no hay diferencias significativas. El tamaño de la muestra es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n= 1488$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n= 111$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n= 849$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n=114$ , Bancal ladera recta parte baja  $n=201$ , Concauidad parte alta ladera  $n=204$ , Convexidad parte alta ladera  $n=1671$ , Convexidad parte baja ladera  $n=360$ , Fondo ladera recta parte baja  $n=345$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n=426$ .

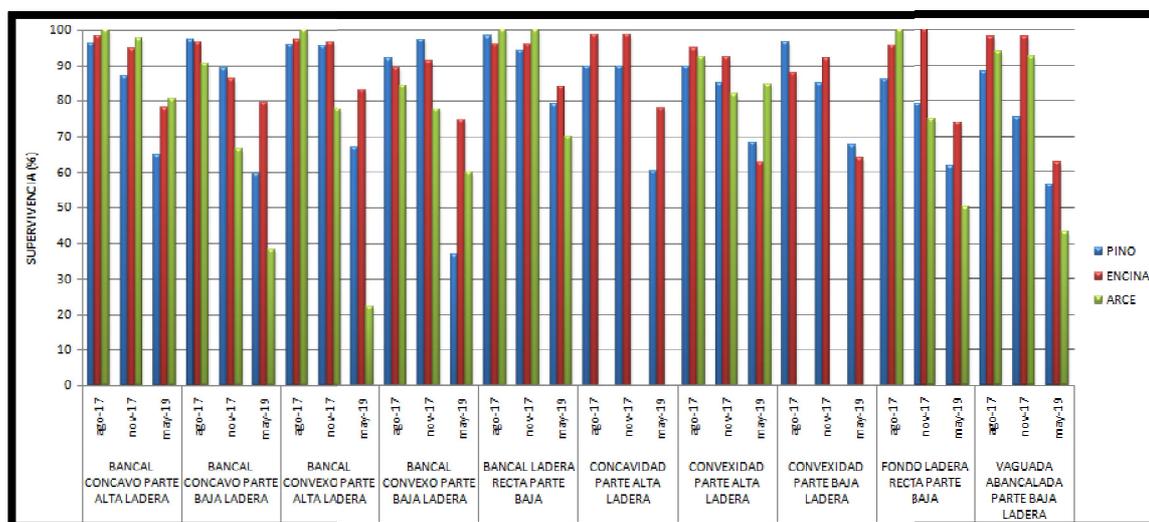


**Figura AI 43. Supervivencia de la especie *Quercus ilex* en cada unidad ambiental durante todos los muestreos. Fuente: Elaboración propia.** La comparación realizada para la **Figura AI 43** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos en cada unidad ambiental. Letras diferentes indica la existencia de diferencias significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en varios muestreos indica que no hay diferencias significativas. El tamaño de la muestra es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 588$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 174$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 423$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n = 141$ , Bancal ladera recta parte baja  $n = 75$ , Concavidad parte alta ladera  $n = 234$ , Convexidad parte alta ladera  $n = 234$ , Convexidad parte baja ladera  $n = 75$ , Fondo ladera recta parte baja  $n = 69$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n = 153$ .

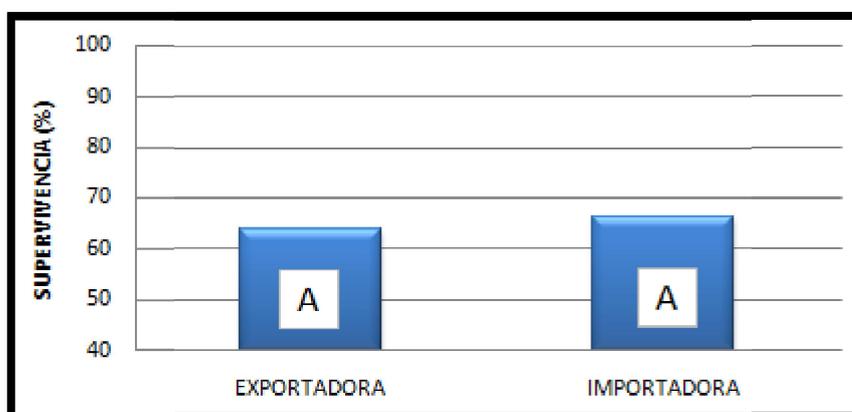


**Figura AI 44. Acer monspessulanum en las unidades ambientales durante todos los muestreos. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AI 44** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos en cada unidad ambiental. La letra "X" indican la existencia de diferencias significativas en todos los muestreos ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indica diferencia significativas al ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en varios muestreos indica que no hay diferencias significativas. El tamaño de la muestra es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 261$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 63$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 27$ , Bancal convexo parte baja

ladera n=135, Bancal ladera recta parte baja n=30, Concavidad parte alta ladera n=0, Convexidad parte alta ladera n=117, Convexidad parte baja ladera n=0, Fondo ladera recta parte baja n=48 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=237.



**Figura A1 45. Supervivencia de las tres especies durante todos los muestreos en las diferentes unidades ambientales. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra en la **Figura A1 45** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concavidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.



**Figura A1 46. Supervivencia global según el carácter ecohidrológico de las geoformas (zona exportadora e importadora) en 2019. Fuente: Elaboración Propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura A1 46** ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos. Letras iguales indican la inexistencia de diferencias significativas entre las zonas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Zonas Exportadoras n= 1452 y en Zonas Importadoras n= 1600.

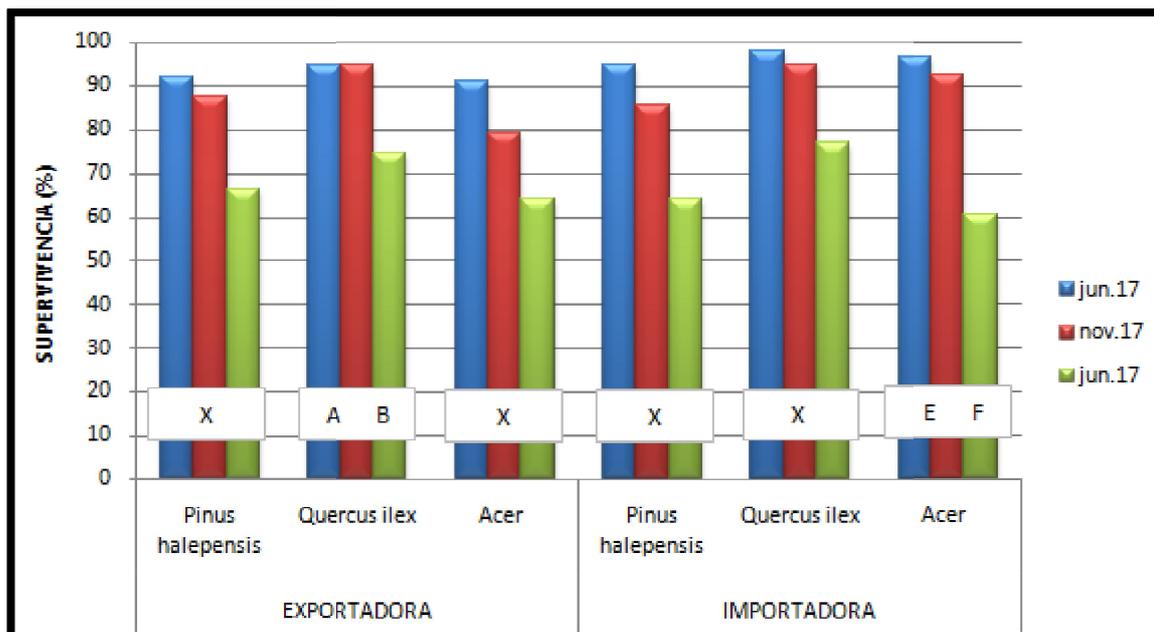


Figura AI 47. Supervivencia de todas las especies dependiendo de zonas con capacidad de movilidad de agua, nutrientes y sedimentos durante todos los muestreos. Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura AI 47 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos para muestreos de cada especie diferenciando entre la capacidad ecohidrológica. El símbolo "X" indica la existencia de diferencias significativas en los tres muestreos ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indica diferencia significativas al ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en dos muestreos indica que no hay diferencias significativas. El tamaño de la muestra es *Pinus halepensis*  $n = 5769$ , *Quercus ilex*  $n = 2166$  y *Acer monspessulanum*  $n = 918$ .

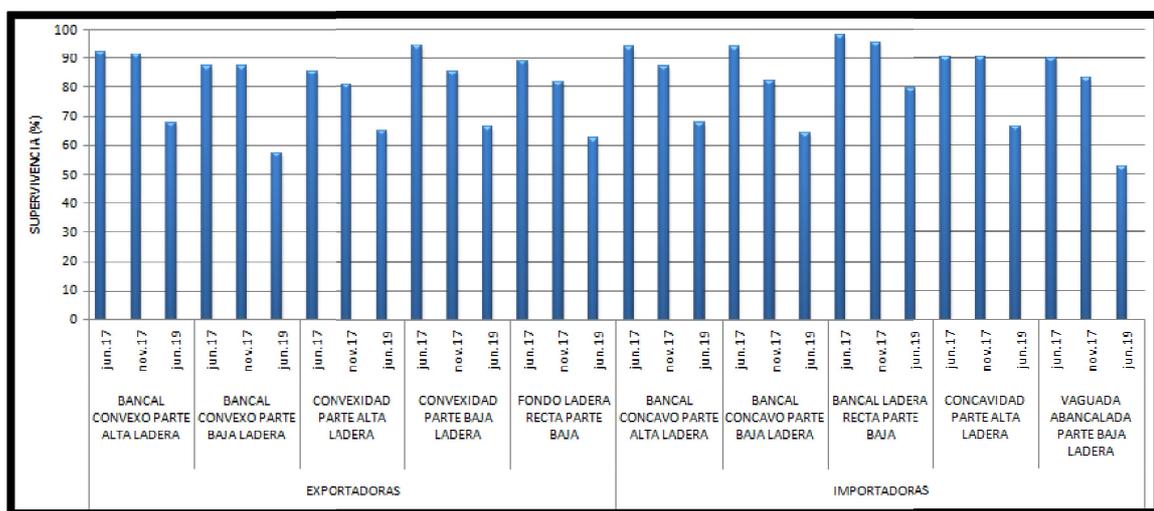
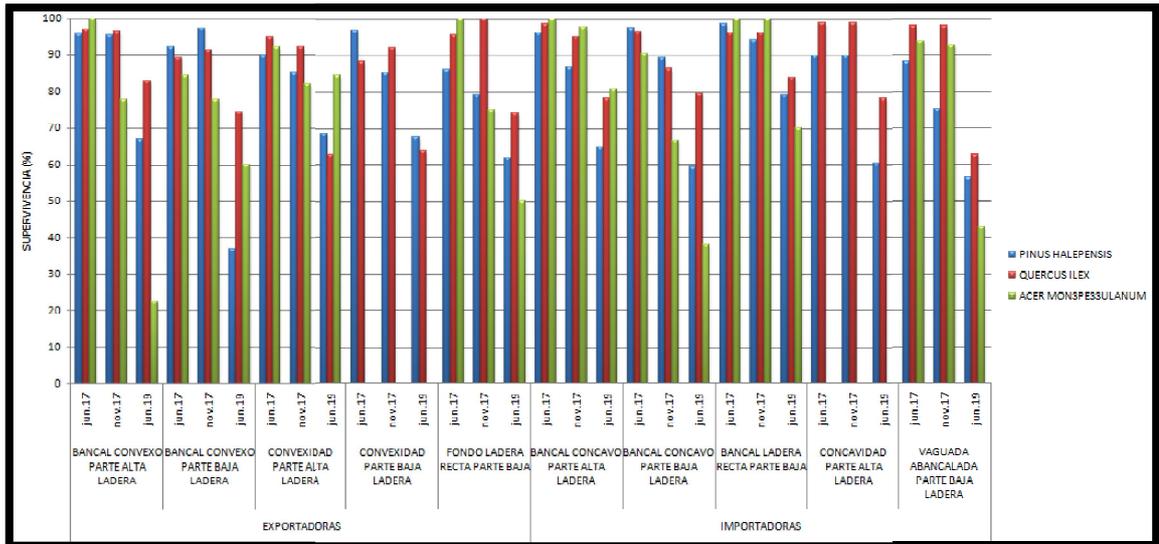
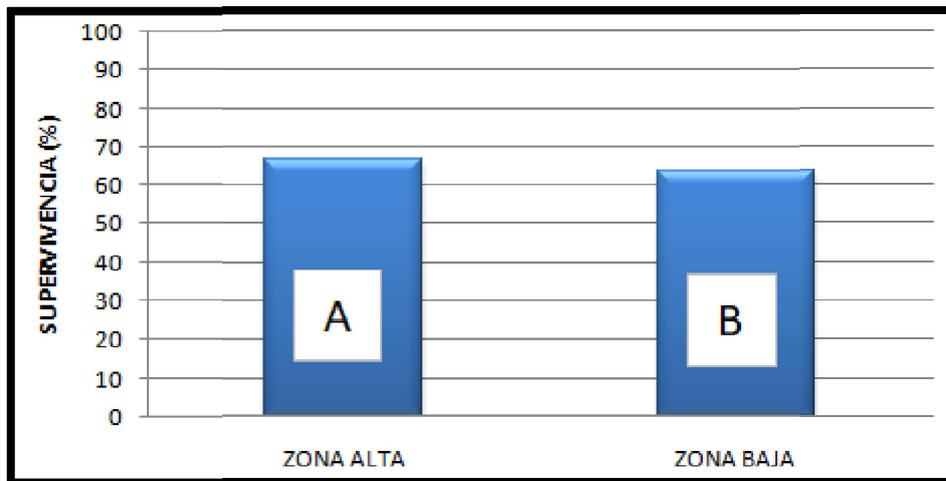


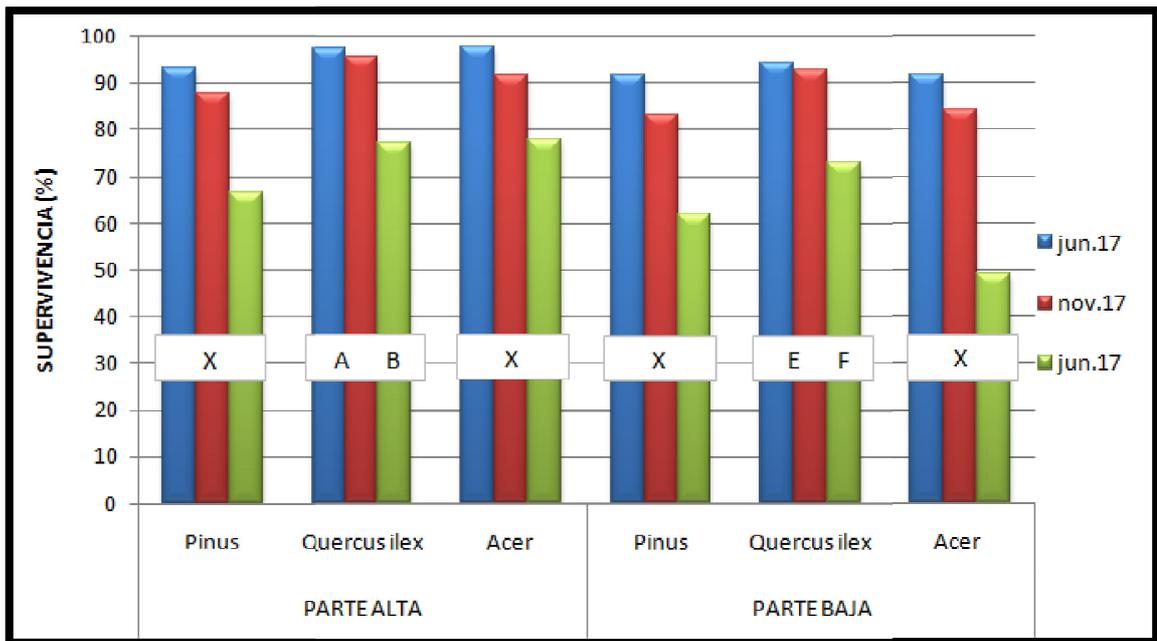
Figura AI 48. Supervivencia unidades ambientales en todos los muestreos divididas entre exportadoras e importadoras. Fuente: Elaboración propia. El tamaño de la muestra en la Figura AI 48 es: Bancal cóncavo parte alta ladera  $n = 2412$ , Bancal cóncavo parte baja ladera  $n = 354$ , Bancal convexo parte alta ladera  $n = 1359$ , Bancal convexo parte baja ladera  $n = 396$ , Bancal ladera recta parte baja  $n = 306$ , Concauidad parte alta ladera  $n = 459$ , Convexidad parte alta ladera  $n = 2139$ , Convexidad parte baja ladera  $n = 438$ , Fondo ladera recta parte baja  $n = 462$  y Vaguada abancalada parte baja ladera  $n = 831$ .



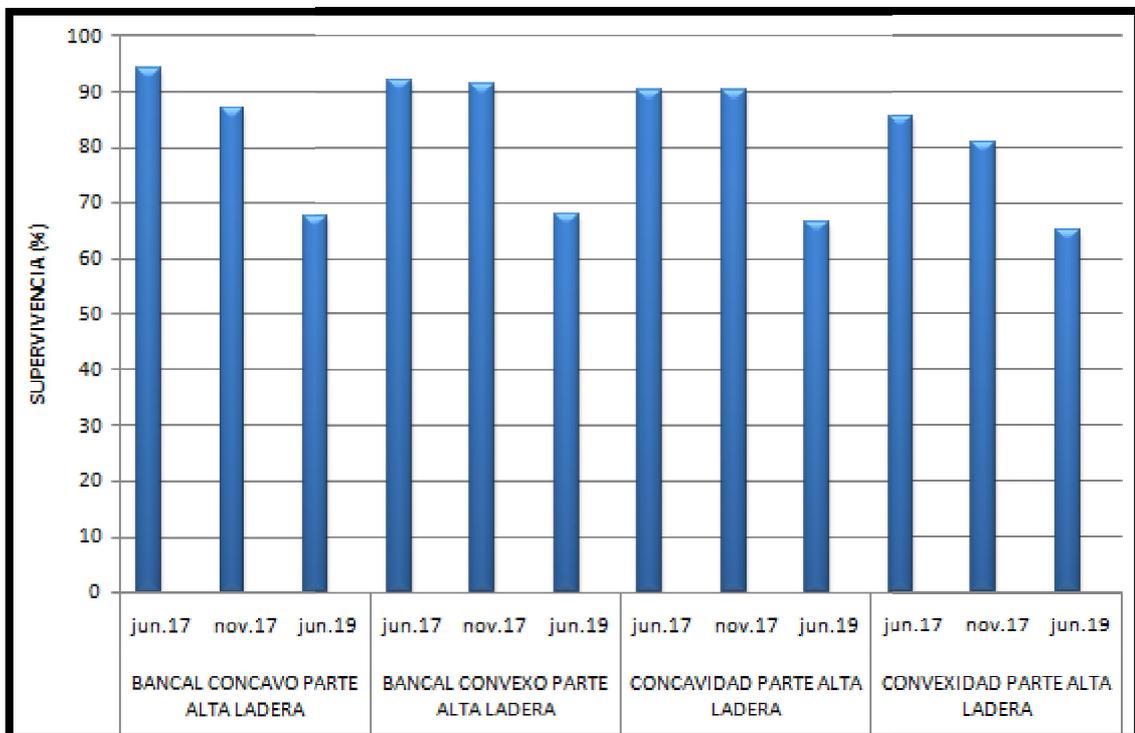
**Figura A1 49. Supervivencia especies según unidad ambiental agrupadas dependiendo de la capacidad del relieve en transportar agua y nutrientes. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra en la **Figura A1 49** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concauidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.



**Figura A1 50. Supervivencia global según la altitud en el año 2019. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura A1 50** ha sido la prueba estadística Chi-cuadrado dos a dos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Zona alta n=2123 y Zona baja n= 929.

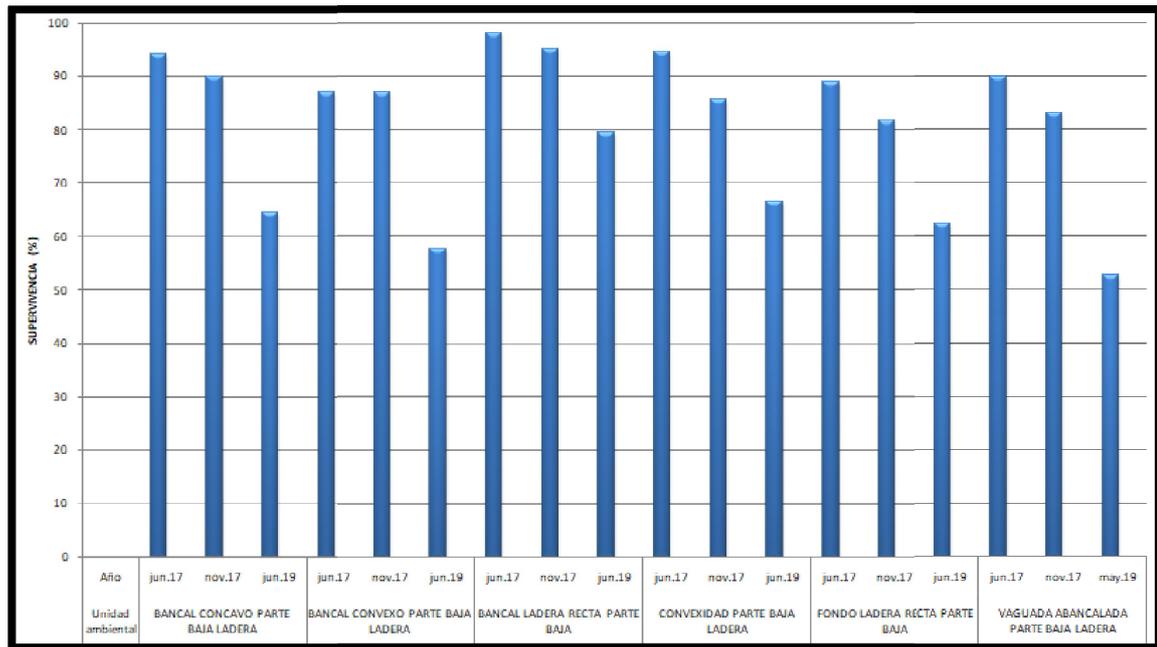


**Figura AI 51. Evolución temporal de la supervivencia de todas las especies según la altitud. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AI 51** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos muestras en cada especie según la zona en la que se ha encontrado. El símbolo "X" indica la existencia de diferencias significativas en los tres muestreos ( $p \leq 0,05$ ), letras diferentes indica diferencia significativas entre muestreos ( $p \leq 0,05$ ) y misma letra en dos muestreos indica que no hay diferencias significativas entre ellos ( $p \leq 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis* n=1923 , *Quercus ilex* n=722 y *Acer monspessulanum* n= 306.



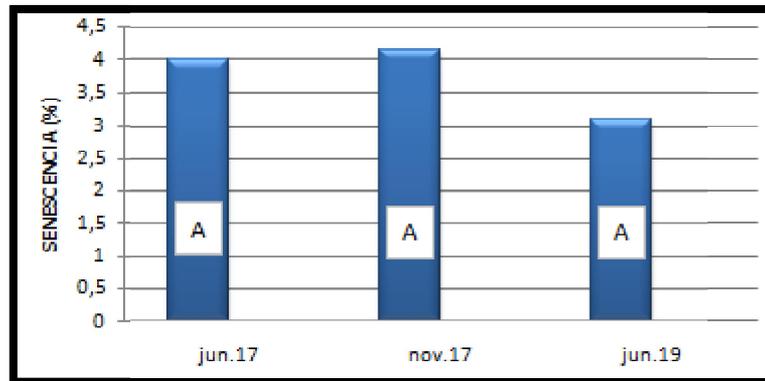
**Figura AI 52. Supervivencia de los individuos localizados en la parte alta del rodal durante en todos los muestreos en las diferentes unidades ambientales que lo conforman. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la

muestra en **Figura AI 52** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Concavidad parte alta ladera n= 459 y Convexidad parte alta ladera n=2139.

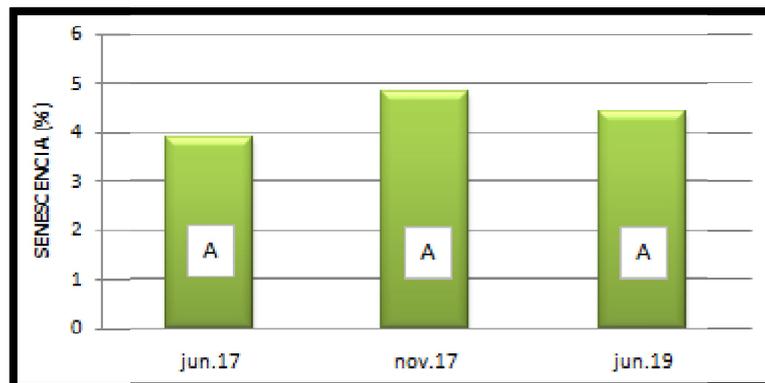


**Figura AI 53. Supervivencia de los individuos localizados en la parte baja del rodal en todos los muestreos dependiendo de las diferentes unidades ambientales que lo conforman. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra en la **Figura AI 53** es: Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte baja ladera n= 396, Bancal ladera recta parte baja n= 306, Convexidad parte baja ladera n= 438, Fondo ladere recta parte baja n= 462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.

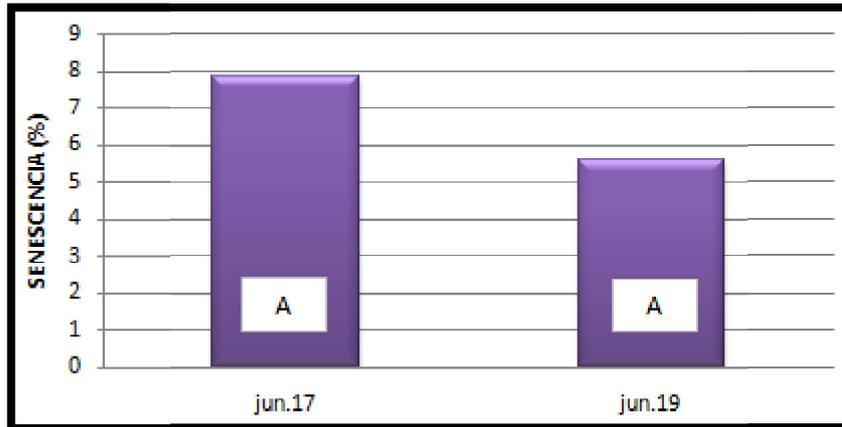
## 7.2. Anejo II: Resultados de Senescencia



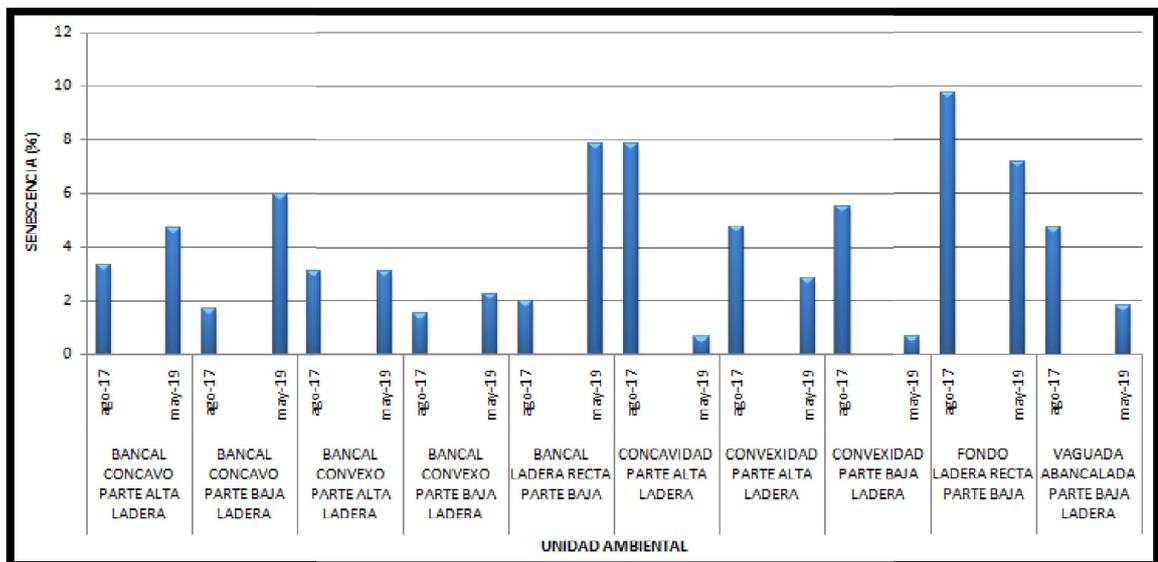
**Figura AII 54. Senescencia en la especie *Pinus halepensis*. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AII 54** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indican la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17 n= 1923, nov.17 n= 1923 y jun.19 n= 1923.



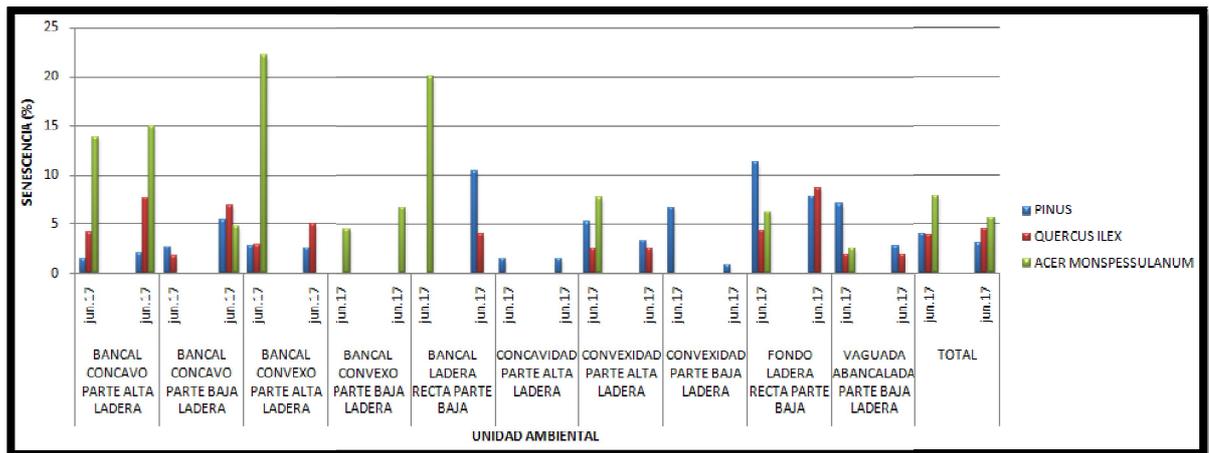
**Figura AII 55. Signos de senescencia de la especie *Quercus ilex*. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AII 55** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales indican la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17 n= 722, nov.17 n= 722 y jun.19 n= 722.



**Figura AII 56. Signos de senescencia de la especie *Acer mospessulanum*. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AII 56** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: jun.17 n= 306 y jun.19 n= 306.



**Figura AII 57. Senescencia del rodal según unidad ambiental. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra en la **Figura AII 57** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concavidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.



**Figura AII 58. Senescencia de cada especie según unidad ambiental. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** El tamaño de la muestra en la **Figura AII 58** es: Bancal cóncavo parte alta ladera n= 2412, Bancal cóncavo parte baja ladera n= 354, Bancal convexo parte alta ladera n= 1359, Bancal convexo parte baja ladera n=396, Bancal ladera recta parte baja n=306, Concavidad parte alta ladera n=459, Convexidad parte alta ladera n=2139, Convexidad parte baja ladera n=438, Fondo ladera recta parte baja n=462 y Vaguada abancalada parte baja ladera n=831.

### 7.3. Anejo III: Resultados del Ramoneo

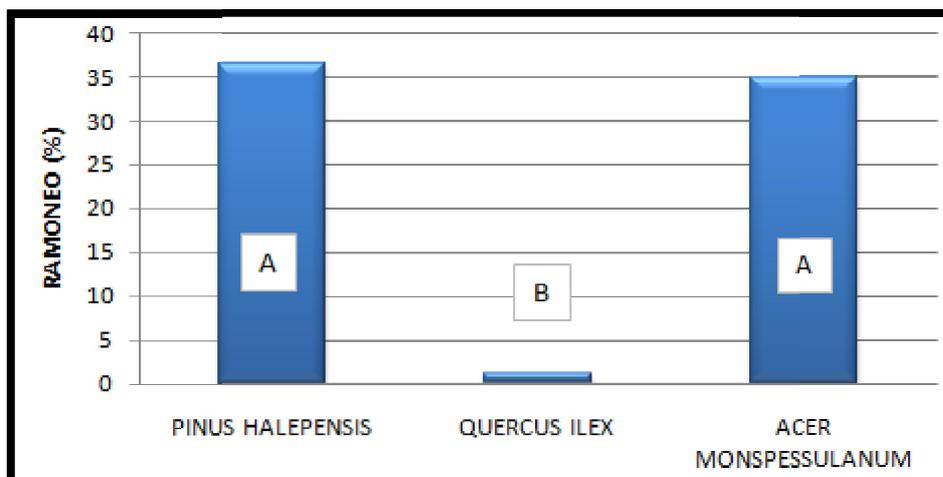


Figura AIII 59. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) de cada especie en el año 2019. Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura AIII 59 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: *Pinus halepensis*  $n = 1923$ , *Quercus ilex*  $n = 722$  y *Acer mospessulanum*  $n = 306$ .

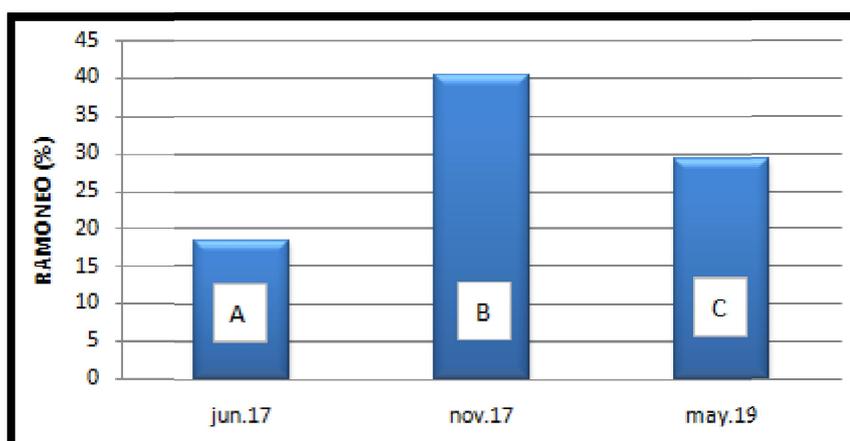
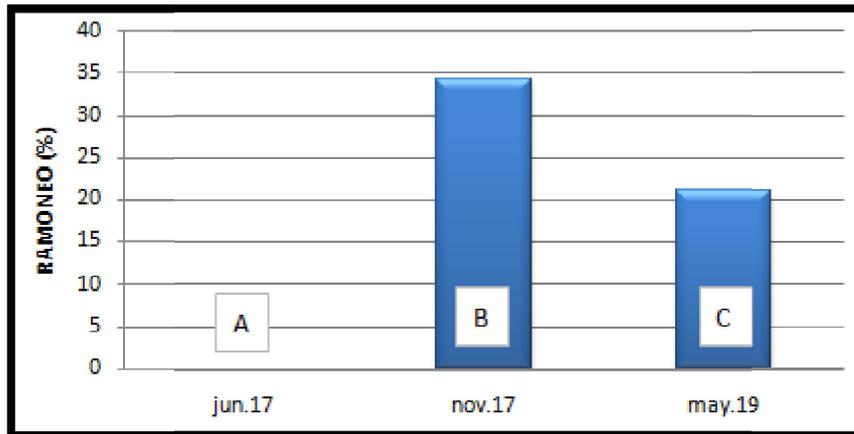
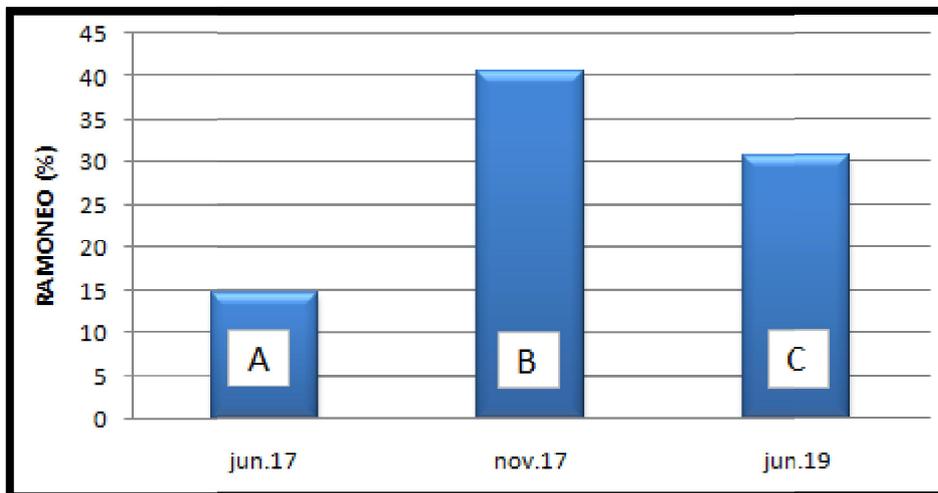


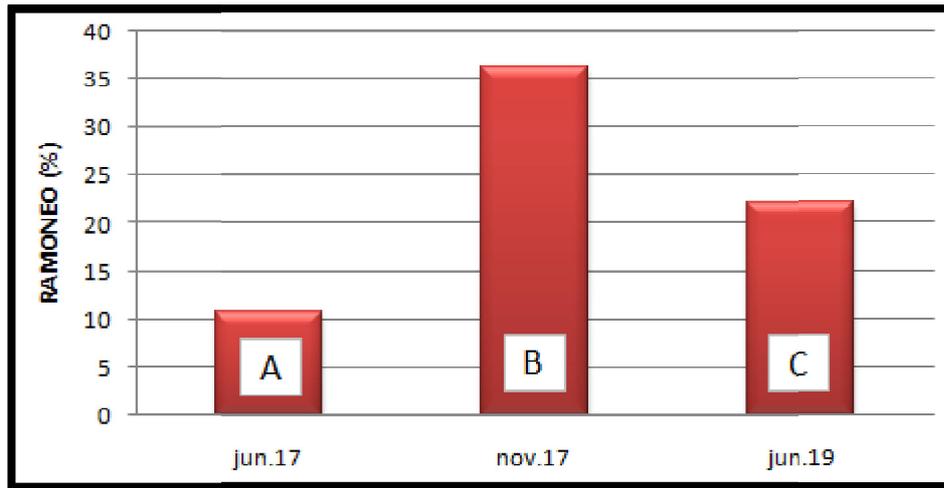
Figura AIII 60. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en la parte alta del rodal. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia. La comparación estadística realizada para la Figura AIII 60 ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: junio 17  $n = 2123$ , noviembre 17  $n = 2123$  y junio 19  $n = 2123$ .



**Figura AIII 61. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en la parte baja del rodal. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AIII 61** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: junio 17  $n = 929$ , noviembre 17  $n = 929$  y junio 19  $n = 929$ .



**Figura AIII 62. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en zona exportadora. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para la **Figura AIII 62** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Jun.17  $n = 1598$ , Nov.17  $n = 1598$  y Jun.19  $n = 1598$ .



**Figura AIII 63. Ramoneo (porcentaje de pies afectados) en zona importadora. Evolución temporal. Fuente: Elaboración propia.** La comparación estadística realizada para **Figura AIII 63** ha sido la prueba Chi-cuadrado dos a dos, todos con todos. Letras diferentes indican la existencia de diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y letras iguales la no existencia de diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). El tamaño de la muestra es: Jun.17  $n = 1454$ , Nov.17  $n = 1454$  y Jun.19  $n = 1454$ .

## 7.4. Anejo IV: Resultados climáticos

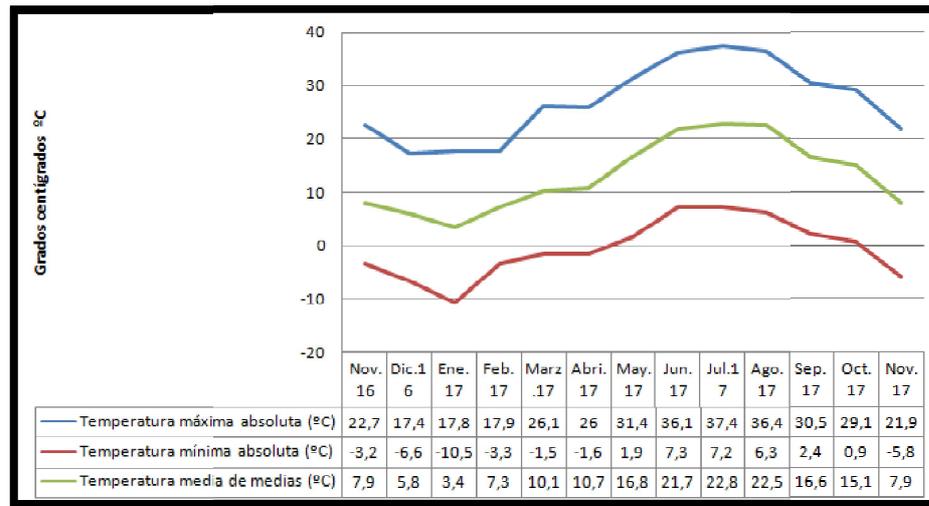


Figura AIV 64. Temperatura durante los primeros meses del rodal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Aragón.

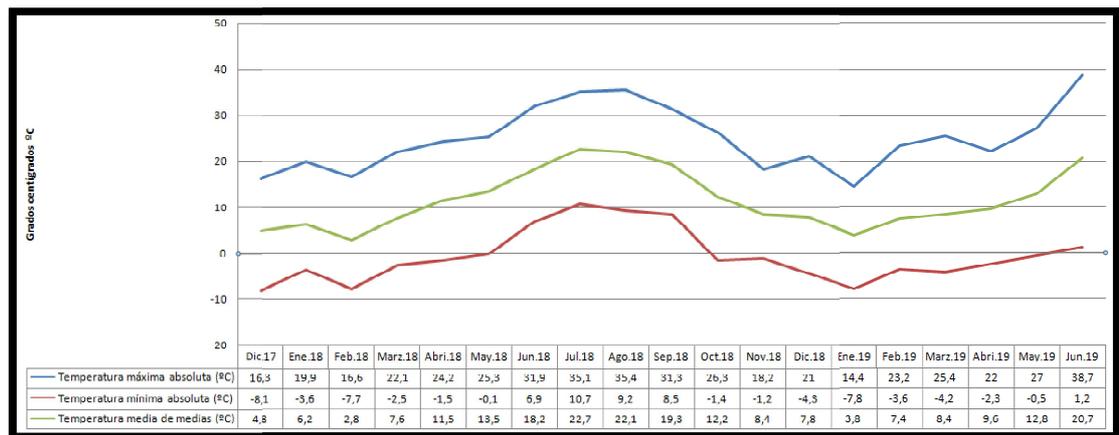


Figura AIV 65. Temperaturas desde diciembre 2017 hasta junio 2019 en el rodal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Gobierno de Aragón.

## 7.5. Anejo V: Imágenes



Figura AV 66. Paisaje agrario en transformación a forestal por abandono del manejo en el término de Tabuena (Aragón).

Fuente: Elaboración propia.



Figura AV 67. Prototipo de espanta-fauna en parcela agrícola en el término municipal de Tabuena, (Zaragoza).  
Fuente: Elaboración propia.



Figura AV 68. Prototipo II de espanta-fauna en parcela agrícola en el término municipal de Tabuena, (Zaragoza). Fuente: Elaboración propia.

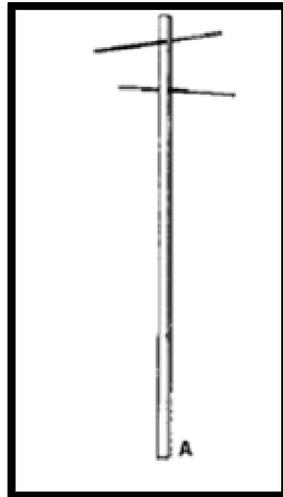


Figura AV 69. Posadero para rapaces diseñado para evitar el daño de pequeños herbívoros. Fuente: Peralta N.A. (2016).



Figura AV 70. Manada de 10 individuos de la especie *Capra pyrenaica* en las inmediaciones del rodal.

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 71. Manada de 11 individuos de la especie *Capra pyrenaica* en las inmediaciones del rodal.

Fuente: Elaboración propia.

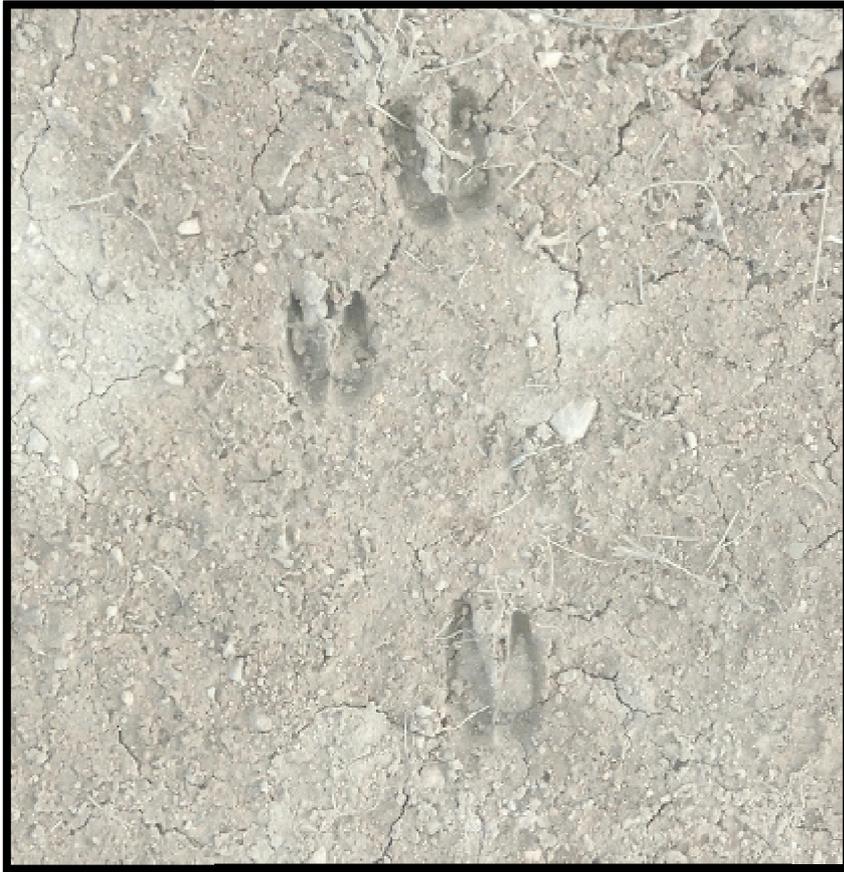


Figura AV 72. Huellas producidas por ungulado en el rodal 11 del término de La Zoma. Fuente: Elaboración propia.



Figura AV 73. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: José Manuel Nicolau



Figura AV 74. Brinzales de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* (al fondo) que serán utilizados para la repoblación forestal del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: José Manuel Nicolau



Figura AV 75. Medición de crecimiento para futuros investigadores.

Fuente: Elaboración propia.



Figura AV 76. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 77. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 78. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 79. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 80. Fracción del rodal 11 en el término municipal de La Zoma, (Teruel).

Fuente: Elaboración propia



Figura AV 81. Raúl Deoiz durante el muestreo de junio 2017 en el rodal 11. Fuente: Elaboración propia.

