

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

INGENIERÍA TÉCNICA FORESTAL



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Evaluación de depósitos de agua de liberación lenta (Waterboxx©) en el establecimiento de repoblaciones en áreas adversas de la Comunidad Valenciana”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:
Guillermo José Mercé Arévalo

Director/es:
Antonio D. del Campo García

GANDIA, 2013

INDICE

Resumen	4
1. Introducción.....	5
2. Objetivos	7
3. Metodología.....	8
3.1 Descripción general de la zona de estudio.....	8
3.2. Elección y justificación del sitio de ensayo	8
3.3. Caracterización de la zona de estudio.....	10
3.4. Diseño experimental y plantación.....	13
3.5. Instrumentalización y seguimiento del ensayo	15
3.6. Rendimientos de plantación.....	16
3.7. Funcionamiento hídrico del WB.....	17
3.8. Supervivencia y crecimiento.....	17
3.9. Tratamiento y manejo de los datos	18
4. Resultados y discusión	19
4.1. Rendimiento.....	19
4.2. Funcionamiento hídrico del WB.....	20
4.3. Supervivencia y crecimiento.....	21
4.4. Discusión	23
5. Conclusiones	25
6. Agradecimientos	26
7. Bibliografía	27

Resumen

El establecimiento de plántones en repoblaciones forestales es un punto crítico del proceso repoblador en condiciones mediterráneas. Uno de los problemas más importantes que se presentan una vez instalada una repoblación, es el alto porcentaje de mortalidad que sufren las plantas debido a factores climáticos, edáficos y de predación. Este contexto ha llevado a la búsqueda de técnicas culturales y estándares de calidad de planta que permitan asegurar altos porcentajes de supervivencia en las repoblaciones forestales, generando de este modo un ahorro en la reposición de maderas y asegurando el éxito de la implantación inicial.

El empleo de estas técnicas pretende además favorecer un mayor desarrollo tanto en la parte aérea como en el sistema radical, asegurando así un rápido establecimiento de la masa arbórea. Pero todas estas técnicas no son suficientemente satisfactorias y no generan los resultados esperados, ya que no están ajustadas para un buen número de especies ni tampoco para determinados tipos de estaciones forestales.

El Waterboxx® (WB) pertenece a una nueva familia de cuidados culturales que podría denominarse como "depósitos de agua de liberación lenta" y su uso viene avalado por resultados satisfactorios en otras regiones geográficas, aunque sin estudios científicos rigurosos. Su fundamento, el suministro regular de agua a la planta y la reducción de la evaporación de agua del suelo, permiten suponer una mejora significativa en los niveles de arraigo, si bien no hay estudios suficientes. Los objetivos del trabajo fueron evaluar el uso del WB en condiciones mediterráneas, y su efecto en el establecimiento de pino carrasco y carrasca. Para ello, se establecieron dos parcelas experimentales considerando los factores especie (carrasca/pino carrasco) y cuidado cultural (WB/control), y se hizo un seguimiento durante un año de la humedad del suelo, la supervivencia, el desarrollo y el funcionamiento hídrico del WB. Los resultados obtenidos indican una mejora del establecimiento de la carrasca (en las dos parcelas) y de pino (sólo una parcela), con supervivencia hasta un 30% superior. La adecuada instalación del WB garantiza un mejor funcionamiento en las condiciones ensayadas.

Palabras clave

Establecimiento, reforestaciones, calidad de estación, calidad de planta, cuidados culturales, WB.

1. Introducción

El establecimiento de plántones en repoblaciones forestales es uno de los puntos críticos del proceso restaurador/repoblador en condiciones mediterráneas (VILLAR-SALVADOR et al., 2012). Para ayudar en este proceso, se han desarrollado en los últimos años distintos cuidados culturales que se han empleado operativamente en programas de restauración forestal (tubos protectores, hidrogeles, enmiendas orgánicas, microcuencas, etc.) (NAVARRO-CERRILLO et al., 2005, 2009; DEL CAMPO et al., 2006), a fin de ayudar a la planta a desarrollar un sistema radical más funcional en el periodo que va desde la plantación hasta la aparición del estrés hídrico estival.

En zonas con elevada pedregosidad, suelo embolsado, relativa termicidad y precipitaciones irregulares, el éxito de la repoblación, medido en términos de supervivencia al final del primer año suele ser muy bajo (<50%) (ALLOZA, 2003, DEL CAMPO et al., 2007). Este es el caso de la Comunidad Valenciana, donde el conjunto de cuidados culturales empleados hasta el momento no han sido suficientemente satisfactorios. De aquí surge la necesidad de encontrar nuevos métodos que se adapten a las exigencias de terrenos degradados, y que aseguren la supervivencia del mayor porcentaje de plántones de primer año, y disminuyan significativamente el número de marras. Ante este contexto y frente a esta necesidad, aparece un nuevo método llamado Waterbox. El Waterboxx© (WB, Groasis©) se presenta como una técnica que viene avalada por unos resultados experimentales satisfactorios en otras regiones geográficas distintas a la Comunidad Valenciana, si bien no existen estudios contrastados. Su fabricante, ©AquaPro, ha realizado parcelas experimentales en otras regiones de la Península, como en Monegros (Zaragoza), Matallana (Valladolid), Girona, etc. En los estudios previos ya realizados se han obtenido resultados con una supervivencia de casi el 100%, en plántones sanos plantados correctamente en los WB.

En este sentido, se planteó un estudio para evaluar la posible respuesta al uso de WB en dos especies forestales con comportamiento ecofisiológico muy diferente frente al establecimiento, el pino carrasco (*Pinus halepensis*) y la carrasca (*Quercus ilex subs.rotundifolia*), comúnmente empleadas en programas de reforestación en la zona levantina.

Las características particulares de los montes valencianos, derivadas sobre todo de la pedregosidad de sus terrenos (por ser la gran mayoría calcáreos), la escasez de profundidad de suelo, sus escasas precipitaciones, la irregularidad que les acompaña y su sequía estival, que restringe en gran medida el establecimiento de especies forestales, genera la necesidad de testar su eficacia, así como de evaluar sus rendimientos de plantación, evaluando de este modo, no sólo su efectividad sino también su idoneidad como cuidado cultural.

2. Objetivos

Según lo expuesto en la introducción, se planteó un estudio con los siguientes objetivos:

1. Evaluar el rendimiento de los operarios durante el establecimiento del WB, en las condiciones propias de la Comunidad Valenciana.
2. Evaluar el funcionamiento hídrico del WB a través de la evolución del contenido de humedad del suelo, y la duración del suministro de agua a la planta (nivel de agua en los depósitos).
3. Evaluar el efecto del WB en el establecimiento (supervivencia y crecimiento) de plantones forestales de pino carrasco y carrasca, durante el primer año de repoblación en condiciones contrastadas de sitio (zona adversa y zona muy adversa)

3. Metodología

3.1 Descripción general de la zona de estudio

El ensayo tuvo lugar en el año 2011 en la Serra de la Ombría (T.M. Ontinyent, Valencia), dentro del monte de utilidad pública número V012, con denominación "La Umbría" en dos parcelas ubicadas en los parajes Corral Pla de les Simes (38°46'24''N y 0°42'31''W) y La Soterraña (38°46'24''N y 0°38'31''W), a 680 y 690 m.s.n.m. respectivamente.

El termotipo es mesomediterráneo y el ombrotipo seco (precipitación anual 521 mm, de los cuales 65 mm son estivales; temperatura media anual 13.9 °C). La pendiente es inferior al 5 % en la parcela del Corral Pla de les Simes, y 15-30% en la parcela de La Soterraña. Los suelos son franco arcillo arenosos (USDA) con profundidad media de 19.3 cm (± 4.9 cm) derivados de material calizo. La vegetación presente es matorral serial en la parcela del Corral Pla de les Simes con dominancia de *Rosmarinus officinalis*, *Ulex parviflorus*, *Quercus coccifera* y *Cistus albidus* y presencia de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. En la parcela de La Soterraña, la vegetación leñosa es casi ausente debido a un incendio forestal ocurrido el verano de 2010. La parcela de La Soterraña (zona quemada-Q) se caracteriza por la ausencia de vegetación, pedregosidad muy elevada, suelo embolsado y afloramiento de la roca madre generalizado, y la parcela del Corral Pla de les Simes (zona no quemada-NQ) presenta mejores condiciones de estación, cubierta de matorral de talla de 1 m y presencia de regenerado de las dos especies objeto de estudio; lo que permite evaluar la posible respuesta diferencial al WB en dos condiciones contrastadas de sitio.

3.2. Elección y justificación del sitio de ensayo

El municipio de Ontinyent sufrió el 6 de Septiembre de 2010 un incendio que afectó cerca del 50% de su superficie forestal. Siendo la magnitud del incendio de 2.512,06 ha., repartidas entre monte arbolado y no arbolado.

A este tipo de incendios se les denomina Grandes Incendios Forestales (GIF), cuando la superficie de afección es superior a 500 hectáreas. El de Ontinyent es uno de los 11 GIF ocurridos en 2010, que arrasaron un total de 54.769,88 ha. en el conjunto del estado.

Concretamente en el mes de Septiembre la Comunidad Valenciana sufre 2 incendios forestales de estas características, el de Ontinyent y el de Rafelguaraf, que afectó a 2.059,35 ha.

El incendio fue intencionado y se propagó por los términos municipales de Ontinyent, Agullent, Alfafara, Bocairent y Albaida. Siendo el municipio de Ontinyent el que se vio más afectado.

Anteriormente la superficie forestal del municipio ya se había visto fuertemente afectada por los incendios de 1994, quemándose 6.000 ha. (equivalente al 95% de su superficie forestal). El incendio de 2010, por tanto, afecta a una zona cuya vegetación se encontraba en un proceso regenerativo, todavía muy lejos de su vegetación potencial. Ante la necesidad de recuperar este terreno degradado y la no satisfactoriedad de los cuidados culturales empleados hasta el momento en la Comunidad Valenciana, se opta por utilizar la técnica del WB.

Estudios del funcionamiento hídrico en repoblaciones con WB en otras regiones, han tenido como respuesta supervivencias muy altas. Este dato, de inicio resulta muy esperanzador, y si se confirmara para las características edáficas predominantes en las estaciones de la Comunidad Valenciana, supondría un aumento del éxito en las repoblaciones, ya que se evitaría la reposición de marras, que en este tipo de repoblaciones alcanza porcentajes cercanos al 50%. Este aumento en la supervivencia se traduciría en un mayor número de plantas arraigando en el suelo y por tanto fijándolo, disminuyendo de este modo la erosión y las pérdidas del suelo.

Los terrenos forestales de la Comunidad Valenciana se caracterizan por su escasa profundidad y su abundante roca madre en superficie. Estas características obligan necesariamente a testar experimentalmente la idoneidad del WB para estas condiciones. Para tal fin, el ensayo se ha dividido en dos zonas de estudio, una cubierta de matorral de 1 metro, y otra con el suelo desnudo por el incendio anteriormente explicado.

Ambas zonas presentan suelos calizos, escasos, muy erosionables y con ausencia de vegetación arbórea.

En el caso de la zona con matorral o NQ, fue afectada por incendios anteriores y su vegetación se encuentra en estadios sucesionales muy alejados de su vegetación climácica. Su composición florística en el momento de la intervención era abundante en vegetación arbustiva, recubriendo casi la totalidad del terreno, siendo la especie predominante *Quercus coccifera*, además incluía diversas especies de matorral, y multitud de herbáceas. Las especies de porte arbustivo eran escasas o incluso inexistentes, encontrando algún enebro y algún pino de pequeño porte.

La repoblación en NQ pretende constatar la respuesta del WB en terrenos que, después de una afección, han producido regenerado y cobertura del suelo, pero carecen casi completamente de especies arbóreas, y se convierte en necesaria la plantación artificial de

estas especies para acercar más rápidamente el sistema a su vegetación climática, y con esto asegurar su estabilidad a largo plazo.

En el caso de Q, el argumento es bien distinto. Después de un incendio, el ecosistema queda fuertemente afectado, y acto seguido comienzan a manifestarse sucesos erosivos muy importantes que debilitan aun más la capacidad regenerativa del medio, y hacen peligrar la capacidad colonizadora de las especies vegetales. Uno de estos sucesos erosivos más habituales son las lluvias otoñales, que en zonas incendiadas en verano, arrastra la tierra y materia orgánica superficial.

Generalmente no se realiza una repoblación en una zona afectada por incendio sin esperar al menos un par de años a ver la respuesta del ecosistema, es decir, ver si se produce una buena regeneración natural que evite las labores de repoblación. Pero en este caso concreto, lo que se ha realizado es un ensayo científico de la respuesta de las plantas en los WB en zonas recientemente incendiadas, comprobando si facilita el arraigo y aumenta la supervivencia, o lo que es lo mismo, disminuye las marras.

Por tanto las zonas elegidas para el estudio, se corresponden con dos de los escenarios más comunes en repoblaciones protectoras; repoblaciones sobre cubierta o de mejora, en el caso de NQ, cuyo objetivo es incrementar la madurez del sistema o bien de conducirlo a un determinado estadio de la sucesión vegetal; y repoblaciones para protección de suelos contra la erosión, como es el caso de Q.

3.3. Caracterización de la zona de estudio (Estudio del medio físico)

Clima

Es de gran importancia para el establecimiento de una repoblación conocer los datos climáticos de la zona donde se va a ejecutar el proyecto. El desarrollo de las diferentes especies encuentra su óptimo entre unos rangos de precipitación y temperatura, por encima de los cuales no va a desarrollarse. De este modo, según las temperaturas máximas y mínimas del lugar, la precipitación total, así como su régimen de distribución a lo largo del año, se llevará a cabo la elección de especie. Buscando aquellas que por su morfología y fisiología puedan desarrollarse en condiciones óptimas.

En la figura 3 se puede observar el rango de temperaturas extremas registradas a lo largo del año, siendo un factor limitante en el desarrollo de las plantas, a tener en cuenta en la elección de especie para la repoblación.

En este sentido también se debe resaltar la precipitación como el mayor de los factores limitantes al desarrollo de la vegetación. La zona de estudio se encuentra dentro del ombrotipo seco, ya que sus precipitaciones medias anuales están comprendidas entre 350 y 600 mm/año.

Cabe destacar que la característica más representativa del clima Mediterráneo, es la ausencia casi completa de precipitaciones durante los meses de verano, conocida como sequía estival, y que constituye el mayor limitante hídrico anual para el desarrollo de la vegetación. Reduciendo de este modo el número de especies capaces de adaptarse a éstas limitaciones.

La sequía estival es un factor clave en la elección de especie, ya que el número de especies de porte arbóreo adaptadas fisiológicamente a fuertes limitaciones hídricas durante los meses de mayor insolación, es reducido.

La vegetación de tipo arbóreo que se podrá desarrollar en la zona de estudio estará limitada por unas precipitaciones medias anuales de 521mm, un Índice de termicidad (It) de 337, y un período de sequía estival que comprende los meses de Junio, Julio y Agosto, estando compuesta principalmente por pino carrasco (*Pinus halepensis*) y carrasca (*Quercus rotundifolia*).

Vegetación

Para la determinación de la serie de vegetación a la cual pertenecen ambas zonas, se va a recurrir a la "Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España" de Salvador Rivas-Martínez.

La vegetación de Ontinyent se encuentra jerárquicamente caracterizada del siguiente modo: Reino Holártico (en base a criterios altitudinales y latitudinales), Región Mediterránea, subregión Mediterráneo Occidental, Superprovincia Valenciano-Catalano-Provenzal, y Sector Setabense.

Nuestra zona de estudio se encuentra dentro del Piso Mesomediterráneo, en la Serie de los carrascos mesomediterráneos, dentro de la "Serie termo-mesomediterránea valenciano-tarraconense murciano-almeriense basófila de la carrasca (*Quercus rotundifolia*). Rubio longifoliae-Querceto rotundifoliae sigmetum".

Las series mesomediterráneas de la carrasca rotundifolia o carrasca (*Q. rotundifolia*), corresponden en su etapa madura o clímax a un bosque denso de carrascas que en ocasiones puede albergar otros árboles (enebros, quejigos, alcornoques, etc.) y que posee un sotobosque arbustivo en general no muy denso.

El termoclima oscila de los 17° a los 12° C y el ombroclima, sobre todo seco, puede llegar con frecuencia al subhúmedo. La etapa de sustitución de la máquia o garriga está generalizada y formada por especies como *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Jasminum fruticans*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, etc. Estos arbustos o árboles desaparecen o tienden a desaparecer al incrementarse el rigor invernal y algunos de ellos resultan ser buenos bioindicadores del límite superior del piso mesomediterráneo, como también lo son otros árboles cultivados (*Olea europea*, *Pinus halepensis*, etc.).

La vegetación de Ontinyent se encuentra representada dentro de la serie 27c.Iberolevantina de la carrasca. Su vegetación estará formada en su fase más degradada por pastizales con *Brachypodium ramosum*, *Sedum sediforeme*, etc. En su fase de matorral degradado, por *Ulex parviflorus*, *Erica multiflora*, *Thymus piperella*, *Helianthemum lavandulifolium*, etc. En su fase matorral denso por, *Hedera helix*, *Genista valentina*, etc. Y por último en su fase bosque o vegetación climácica por, *Quercus rotundifolia*, *Rubia longifolia*, *Quercus coccifera*, y *Smilax aspera*. Siendo la vegetación climácica del lugar, es decir la vegetación máxima que puede desarrollarse en estos terrenos. Cabe tener en cuenta que no se hace referencia a los pinos ni se los incluye en la vegetación climácica, pero en muchas estaciones este supone el mayor grado al que llega el desarrollo potencial de la vegetación, por lo que debería de incluirse como vegetación climácica.

Se entiende por tanto que para el caso concreto de Ontinyent, la vegetación climácica se encuentra formada además de las especies anteriormente citadas, por *Pinus halepensis*.

En el presente estudio, se va a efectuar la repoblación en dos escenarios diversos, un terreno con vegetación (NQ) y otro completamente desnudo (Q).

El terreno con vegetación, se encontraría en la serie del matorral degradado, con especies como, además de las citadas, *Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus Officinalis*, *Thymus vulgaris*, etc. Siendo el objetivo de la repoblación acercar la composición florística hacia estadios más desarrollados, con la aparición de *Quercus rotundifolia* y *Pinus halepensis*.

El terreno desnudo, según las series sucesionales no se encontraría en ningún momento de la sucesión, sino en el momento previo a ser colonizado por pastizales, y especies pioneras que cubran en mayor o menor medida la superficie del terreno.

3.4. Diseño experimental y plantación

La plantación tuvo lugar a finales de febrero del año 2011 con plantas de una savia de edad de *Pinus halepensis* (16.4 cm de altura y 3.68 mm de diámetro, con un peso seco aéreo de 1.90 g y radical de 1.79 g) y *Quercus ilex* (17.9 cm, 7.76 mm, 2.59 g y 5.17 g respectivamente) procedentes del vivero de La Hunde (Ayora, Valencia) y siendo la semilla de procedencia local. No obstante, la calidad de la planta no fue homogénea, y en el caso de la parcela no quemada tenía unas dimensiones mayores que la de la zona quemada.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar, de modo que fueran lo más homogéneos posible en cuanto a orientación, pendiente, tipo de suelo, etc. En la parcela quemada se establecieron cuatro bloques con 64 plantas cada uno, 32 con WB y 32 testigos (256 plantas en total). En esta parcela se plantaron pino carrasco y carrasca en idéntica proporción (Figura 1). En la zona no quemada, se establecieron tres bloques con 86 plantas cada uno, 43 con WB y 43 testigos (258 plantas en total). En esta parcela se plantaron pino carrasco y carrasca en idéntica proporción, en mezcla íntima. En total se utilizaron 260 WB, 130 por parcela o sitio de ensayo.

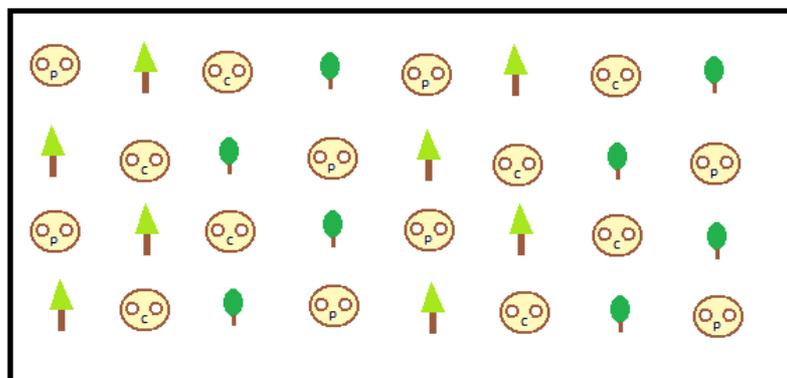


Figura 1. Distribución en mezcla íntima pie a pie.

El WB es una patente de GROASIS©, que consiste en una estructura plástica de polipropileno en forma de barreño con tapa, con un diámetro en su parte superior de 40 cm y una altura de 28 cm y 15 litros de capacidad de almacenamiento hídrico (Figura 2). El WB es un dispositivo formado por varias partes, consistente en un recipiente circular. Sus partes son: una tapa con forma cónica invertida con su superficie en forma de pequeños tejados. Una tapa interna que sirve como aislante. Tapa interna y externa se encuentran perforadas comunicando con la zona hueca del recipiente, y facilitando el paso del agua a través de

ambas tapas, se encajan dos pequeños tubos en dichos orificios, de modo que facilitan el paso del agua del exterior al interior del recipiente. Del mismo modo, en la base del recipiente existen dos orificios, que mediante un trozo de cuerda textil y un cartón basal, permiten una comunicación hídrica desde el interior al suelo. Para facilitar el anclaje al suelo, se adhieren dos pequeñas pestañas laterales en la base del dispositivo.

En lo referente a su funcionamiento hídrico, el WB a través de su tapa externa recoge tanto las lluvias como el agua proveniente de rocíos, nieblas, etc. y lo transmite a su depósito interno. El agua es trasladada por capilaridad a través de una mecha desde el interior del recipiente hacia la superficie del suelo, de forma lenta y paulatina.

El WB además evita la evaporación edáfica del sustrato en contacto con la planta, impide la aparición de plantas anuales colonizantes que ejerzan competencia (aunque en ocasiones puede favorecerlas), y disuade a los herbívoros.

Es un producto con una vida útil de unos 10 años, pensado para reutilizarse 2-3 veces. Su precio varía en función de la cantidad, oscilando sus precios desde los 19.99 euros/unidad adquiriendo 10 unidades hasta los 11.99 euros/unidad adquiriendo 7200 unidades. En el caso del siguiente estudio se han utilizado 260 WB con un valor de mercado de 3637.40 euros, saliendo la unidad a 13.99 euros.

Aunque el WB permite ubicar dos plantas por unidad, se empleó una única planta por hoyo de plantación. La distribución de las plantas (WB y testigos) fue simultánea pie a pie dentro del bloque, y fueron establecidas por los mismos plantadores, a lo largo de una misma jornada.



Figura 2. Detalle del Waterboxx © (tomado de Groasis.com) y aspecto tras plantación en la parcela no quemada (dcha).

3.5. Instrumentalización y seguimiento del ensayo

Los pasos llevados a cabo en el ensayo se componen de: preparación del terreno, plantación y mediciones. Las mediciones han sido efectuadas sobre las plantas y sobre los rendimientos de plantación.

1. Preparación del terreno:

La preparación del terreno se ha ejecutado de modo diverso para ambas zonas, siendo mecanizada en la NQ y manual en la Q.

La preparación del terreno en la NQ se ha realizado con una retroexcavadora con cazo. En la elección del lugar de plantación, el principal criterio ha sido respetar aquéllas formaciones ya existentes, y colocar los plantones en los emplazamientos no ocupados por la regeneración natural. Otro criterio añadido ha sido disponer los plantones de pino carrasco en zonas luminosas, por tratarse de una especie de luz, y los plantones de carrasca en zonas más protegidas, por tratarse de especies de media sombra.

En cuanto a los operarios, para las labores de plantación fueron necesarios 2 plantadores, un maquinista para la retroexcavadora y un operario que lo guiaba, además de un conductor de cuba. Sumando en total 5 operarios.

La preparación del terreno en la Q se ha realizado manualmente, con azadas. Ante la imposibilidad de utilizar maquinaria en zonas incendiadas y debido a la abundante pedregosidad superficial, la azada se convierte en un instrumento muy preciso a la hora de hacer el ahoyado para los plantones, ya que puede acceder a esas pequeñas bolsas de suelo, donde las especies tendrán más posibilidad de desarrollar un buen sistema radical, y aumentar su supervivencia.

En cuanto a los operarios, para las labores de plantación en esta zona fueron necesarios 3 operarios plantando y un conductor de cuba. Sumando en total 4 operarios.

2. Plantación:

Para la plantación se ha utilizado en ambas zonas la ayuda de la azada, pero la plantación ha sido manual, ya que la pedregosidad del terreno no permite otro medio manual de plantación. Los plantones plantados con WB han necesitado además de la preparación del terreno y el plantado, un montaje de los WB previo, así, la plantación en este caso, se compone de varias fases, correspondientes a: preparación del terreno, montaje del WB,

transporte del WB del lugar de montaje hasta el hoyo correspondiente, plantación de la plántula y aporcado del WB. Por tanto, la técnica de plantación con WB requiere de mayores tiempos que la plantación de los testigos con castillete de piedras.

3. Mediciones:

En el caso de las mediciones en planta, para verificar el efecto del WB se medirán, a) en la planta: la altura, el diámetro del tallo a 1 cm del suelo, la supervivencia y el estado general; y b) en el WB/suelo: contenido de humedad con TDR, altura de la lámina de agua dentro del WB, funcionamiento hídrico y estado del WB.

Todos los datos medidos serán registrados en unos estadillos para su posterior tratamiento.

Los aparatos de medida utilizados para las diferentes medidas realizadas sobre las plantas han sido respectivamente: para las alturas cintas métricas; para los diámetros en el cuello de la raíz así como la altura de la lámina de agua dentro del WB, un pie de rey; para la humedad en el suelo un TDR y sondas de humedad del suelo.

3.6. Rendimientos de plantación

El rendimiento de la plantación hace referencia a los tiempos totales necesarios para efectuar la repoblación con y sin WB, no haciéndose referencia a los costes económicos. Estos tiempos son, de acuerdo a las distintas fases en que se divide el proceso: tiempos de montaje del WB, tiempos de reparto del WB sobre la superficie del terreno, tiempos de plantado con WB (que incluye tanto plantación como aporcado, pero que se considerará como una misma actividad a efectos de cálculo) y tiempos de riego o llenado del WB (se dan aparte). El montaje se hace normalmente a pie de pista. El WB se compone de un total de 9 piezas que se encajan incluyendo una mecha que queda entre la parte externa e interna del depósito (Fig. 2). En el reparto de los WB se considera su transporte desde pie de pista hasta el punto de posterior plantación (en nuestro caso siempre menos de 100 m).

Los rendimientos se han medido tanto individualmente para los testigos y el WB, como conjuntamente. La primera medida se realizó en el bloque II de la zona quemada (zona más adversa donde más interés tiene constatar la eficiencia del método), sobre una muestra de 8 plantas plantadas con WB y 8 testigos, con dos operarios trabajando simultáneamente. Por otro lado, el cómputo del conjunto de tiempos se realizó en los bloques III y IV (32 WB y 32 testigos cada uno) de la zona quemada y el bloque II de la zona no quemada (43WB y 43

testigos); igualmente el tiempo corresponde al de dos operarios. En este caso los rendimientos individualizados se deben extrapolar a partir de los datos del método anterior.

3.7. Funcionamiento hídrico del WB

El funcionamiento hídrico se estudió de dos formas: el seguimiento de la humedad del suelo y el seguimiento del nivel de agua en el depósito. La evolución del contenido de humedad del suelo en ambos tratamientos se realizó de forma puntual con un TDR de varillas (TDR, Spectrum, Field Scout 100, 12 cm de varillas), y de forma continua, usando 16 sondas de humedad del suelo tipo FDR (ECH2O conectadas a una Micro Station "HWS-Micro"), distribuidas equitativamente en hoyo con testigos y con WB colocadas a idéntica profundidad. Se recogieron datos cada 20 minutos y se promediaron a un valor medio diario. A partir de estos datos se obtuvo el incremento (positivo o negativo) en el contenido diario de agua del suelo (respecto del día anterior). Dado que las sondas no fueron calibradas, los datos de esta variable se normalizaron para una mejor representación de los datos. Se tomaron datos de precipitaciones y temperaturas de una estación aledaña (Fontanars dels Alforins).

El seguimiento del nivel de agua en el depósito es indicativo de la duración del suministro de agua a la planta y se ha realizado en una muestra representativa de WB en cada parcela y bloque en las distintas visitas realizadas a las parcelas. El procedimiento consistió en asegurar la horizontalidad del WB con un nivel, abrirlo por el tapón de relleno, introducir el pie de rey y anotar la profundidad del agua en cm dada por el registro electrónico.

3.8. Supervivencia y crecimiento

El efecto del WB sobre el éxito de la repoblación se evaluó a través de la supervivencia y del crecimiento en altura y diámetro del tallo a 1 cm del suelo, en cuatro fechas a lo largo del primer año de ensayo: tras la plantación, antes del periodo estival, al final del periodo estival y a savia parada (a efectos de recoger el periodo vegetativo otoñal). En cada control se anotó igualmente la supervivencia y el estado general de los plantones.

3.9. Tratamiento y manejo de los datos

Los datos han sido tratados con Microsoft Excel. El efecto de los tratamientos sobre el agua del suelo se ha analizado mediante un análisis de la varianza no paramétrico de Kruskal Wallis. Para contrastar las diferencias entre los dos tratamientos en el establecimiento, se usó un análisis de la covarianza, ANCOVA, (siendo la variable dependiente el crecimiento en altura o diámetro o la supervivencia en porcentaje, la covariable la fecha de medición y el factor fijo el tratamiento, la parcela y el bloque). Para efectuar este análisis se comprobó la homogeneidad de varianzas, de las pendientes de las rectas de regresión y la normalidad de los residuos (STEEL & TORRIE, 1988). Cuando no se cumplió alguna condición se buscaron las transformaciones oportunas y en caso no hallarse tal se indica en el texto. En general se ha trabajado con un nivel de significación del 0.05. Los procedimientos estadísticos mencionados se han llevado a cabo con el paquete estadístico SPSS v12.

4. Resultados

4.1. Rendimiento

Se presentan en la tabla 1 los rendimientos de plantación tanto para tiempos individualizados por fases (corresponden al bloque II de la zona quemada, con dos operarios para ocho WB y ocho testigos) como conjuntamente. La plantación es la suma de tres actividades, el ahoyado mediante azada, la plantación del brinjal y la instalación y aporcado del WB, de modo que quede bien sujeto sin posibilidad de dañar a la planta ni de ser desplazado por la acción del viento, lluvias, animales, etc. Los tiempos necesarios para la plantación de los testigos fueron muy pequeños en comparación con la plantación con WB, ya que la fase de plantación consta sólo de la plantación, siendo la fase de montaje inexistente y la de transporte no mensurable. Así, el WB supone un aumento del tiempo de plantación unas 4.5 veces mayor (superior al 85%) (Sin considerar el riego).

Tabla 1. Resultados de los rendimientos de plantación del ensayo. Se presentan los resultados del rendimiento individualizado para WB y testigos (bloque II, parcela quemada y sobre una muestra de 8 unidades) y conjunto (bloques III y IV zona quemada con 32 WB y 32 testigos c.u. y bloque II parcela no quemada con 43WB y 43 testigos). Todos los tiempos son para un equipo de dos operarios. tiempos calculados a partir del método individual: 82% para WB y 18 para testigo.*

Método	Zona	Operarios	Unidades	Fase	Tiempo real	Tiempo teórico 1 unidad
Indiv	III-Q	2	8 WB	Montaje	7 min	52.5 s
Indiv	III-Q	2	8 WB	Reparto	3 min	22.5 s
Indiv	III-Q	2	8 WB	Plantado	19min+40s	2min+27.5s
Indiv	III-Q	2	8 WB	Total	29min+40s	3min+42s
Indiv	III-Q	2	8 testigos	Total	6min+33s	49s
Conjunto	III-Q	2	32WB+32 t	Total	2h+45 min	4min+13s (WB)*
Conjunto	IV-Q	2	32WB+32 t	Total	2h+58 min	4min+34s (WB)*
Conjunto	II-NQ	2	43WB+43 t	Total	5h +15 min	6min (WB)*

Respecto a los tiempos de riego o llenado del WB, se realizó mediante el uso de un camión cuba; en la parcela quemada se tardó 40 minutos por bloque (32 WB por bloque) y en la parcela no quemada (bloque II con 43WB) se tardó 1h y 30 minutos.

4.2. Funcionamiento hídrico del WB

La medición del nivel de agua en los WB mostró que éste se mantuvo a lo largo del ensayo en valores próximos al máximo (13 cm) (Tabla 2). Esto significa que o bien la liberación de agua está dificultada por algún motivo o bien que las cajas se auto-lleñan de manera muy efectiva a partir de los eventos de lluvia registrados en el periodo (Figura 4).

Tabla 2. Nivel de agua en cm registrado en los distintos momentos de control en los WB.

PARCELA	FECHA	N	Media	Desv. típ.
No quemada	13-Mar-2011	45	9.7	1.9
	27-Jun-2011	37	10.5	2.0
	13-Sep-2011	41	7.2	3.4
	05-Jan-2012	40	12.1	2.4
Quemada	13-Mar-2011	17	11.5	0.8
	27-Jun-2011	33	11.9	2.1
	13-Sep-2011	35	10.5	1.9
	05-Jan-2012	32	12.7	0.5

La humedad del suelo medida periódicamente mediante TDR ha mostrado diferencias significativas entre los testigos ($3.2\pm 3.9\%$) y el WB ($6.6\pm 6.2\%$), con el doble de agua disponible en el caso del WB. Sin embargo, los datos continuos no han mostrado diferencias significativas, aunque los incrementos medios diarios de la humedad del suelo de los testigos ($0.02\pm 1.9\%$) fueron mucho más bajos que el WB ($0.07\pm 1.1\%$). La figura 3 muestra los datos normalizados de dos sondas correspondientes a ambos tratamientos donde se observa que efectivamente las diferencias entre ellos se producen principalmente en los eventos de precipitación y no en el transcurso de la sequía estival, donde muestran un comportamiento paralelo (Figura 4).

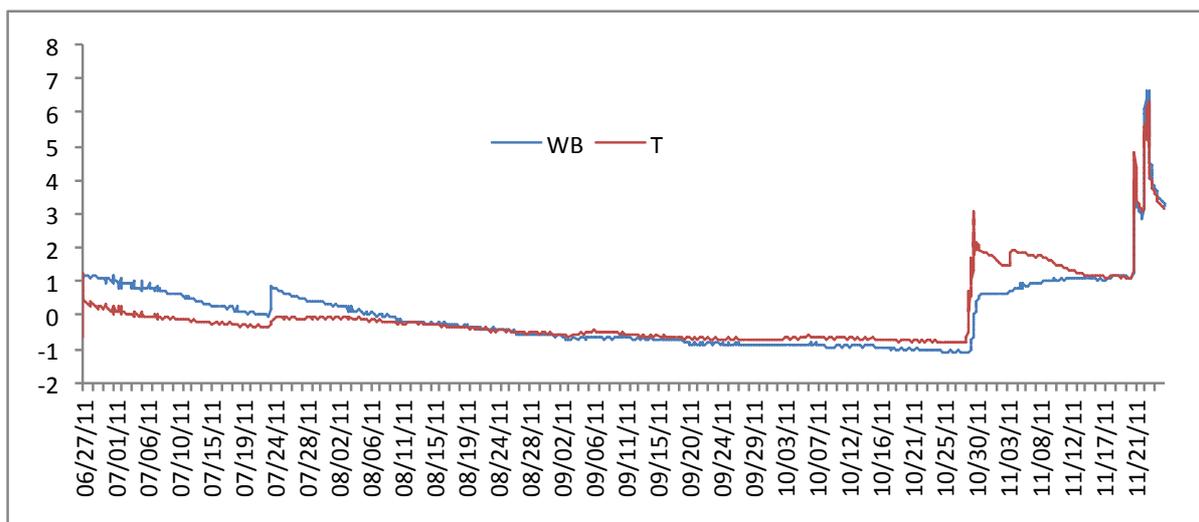


Figura 3. Datos normalizados del contenido de agua del suelo (sondas FDR) para WB y testigos durante el periodo estival y otoñal del año de estudio.

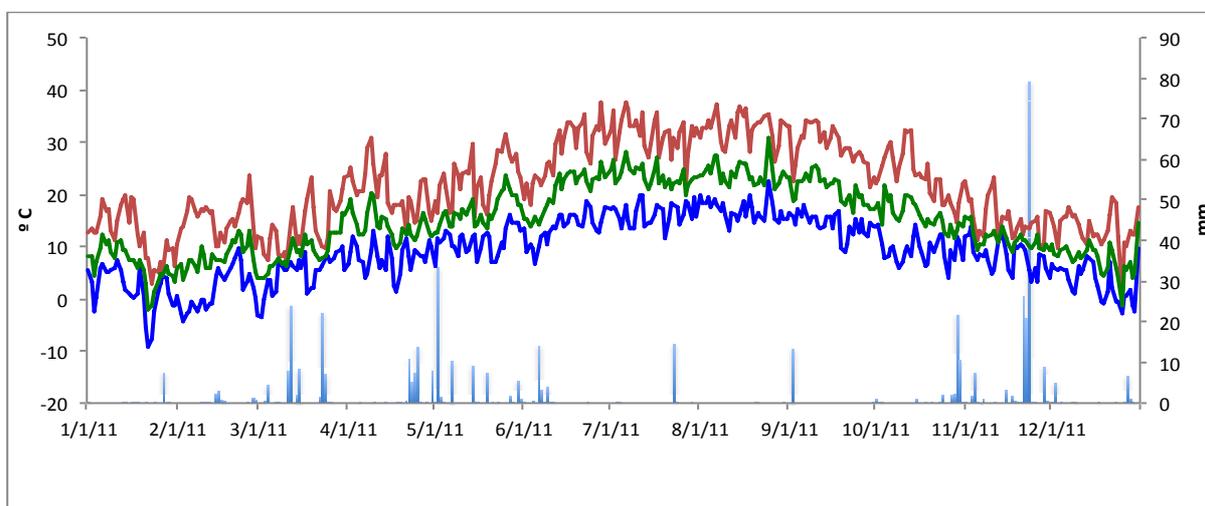


Figura 4. Información climatológica diaria correspondiente al año de estudio (temperaturas mínimas, medias u máximas y precipitaciones).

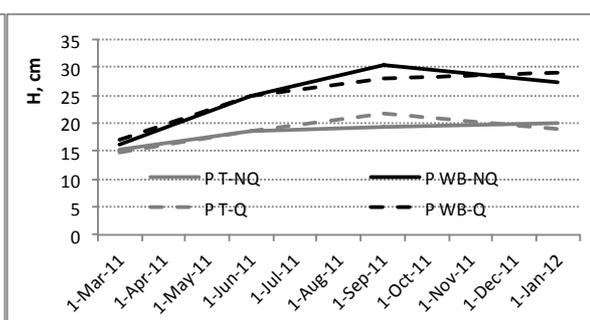
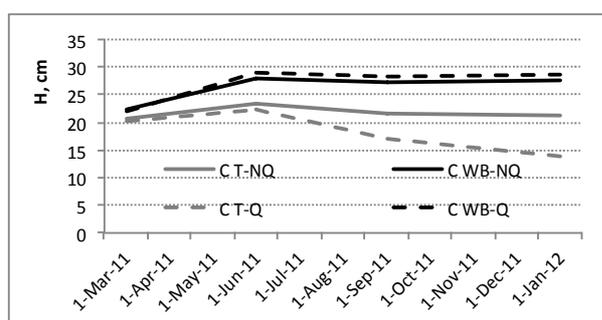
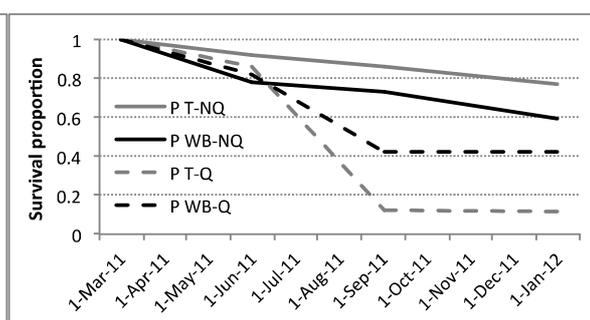
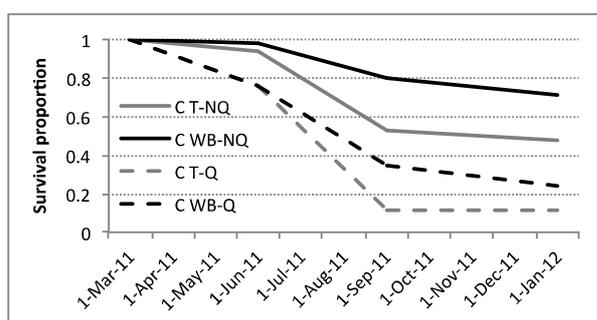
4.3. Supervivencia y crecimiento

El efecto del WB sobre la supervivencia y crecimiento fueron, en general positivos, aunque matizables (Tabla 3, Figura 5). En primer lugar, respecto a la supervivencia, se observa que el WB tuvo un efecto positivo para la carrasca en ambas parcelas, pero en el caso del pino carrasco solamente en la parcela quemada, con peores condiciones de estación. De hecho, el Ancova no mostró diferencias significativas para esta variable en el pino. También es destacable que las diferencias de estación entre ambas parcelas dio lugar a diferencias importantes de supervivencia que no son atenuadas mediante el uso de los WB. Este hecho no

se produce en las dos variables de crecimiento, altura y diámetro, cuyos valores fueron mayores con el WB en las dos especies, independientemente de la localización o parcela considerada, si bien no aparecen diferencias significativas (respecto al tratamiento) en el crecimiento en diámetro en el pino carrasco. En ningún caso el Ancova detectó interacciones entre parcela y tratamiento (resultados no mostrados).

*Tabla 3. Resultados del análisis de la covarianza sobre las variables medidas para testar el efecto del WB sobre el establecimiento (supervivencia, altura y diámetro) en pino carrasco y carrasca según parcela (No Quemada y Quemada), tratamiento Waterboxx® (WB y testigo), bloque y fecha de medición. ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; n.s.: no significativo. ¹Varianzas no homogéneas*

Variable	Especie	Zona	Tratamiento	Bloque	Fecha
Supervivencia	<i>Q. ilex</i> ¹	***	***	***	***
	<i>P. halepensis</i>	***	n.s.	***	***
Altura	<i>Q. ilex</i>	n.s.	***	n.s.	***
	<i>P. halepensis</i>	n.s.	***	***	***
Diámetro	<i>Q. ilex</i> ¹	n.s.	*	*	***
	<i>P. halepensis</i>	n.s.	n.s.	n.s.	***



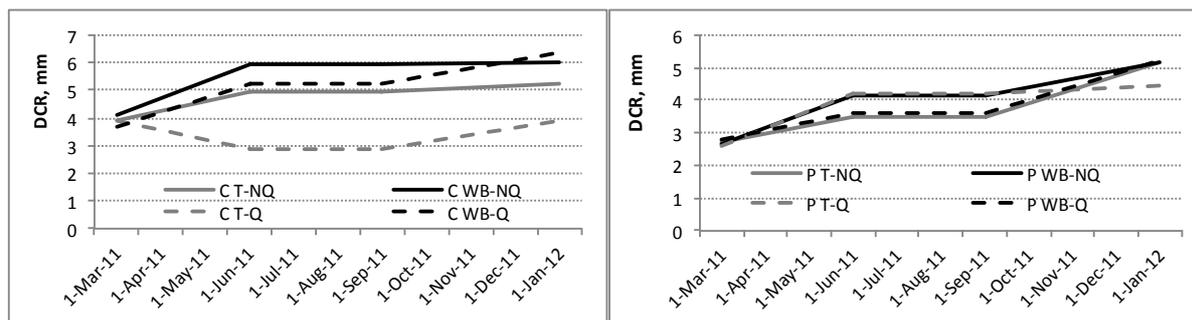


Figura 5. Evolución temporal de las distintas variables medidas para testar el efecto del WB sobre el establecimiento (supervivencia, arriba, altura, en medio y diámetro, abajo) de plantones de pino carrasco (P) y carrasca (C) en ambas parcelas No Quemada (NQ) y Quemada (Q). WB: Waterboxx©; T: testigos

4.4. Discusión

Los resultados obtenidos en este ensayo muestran una mejora moderada en la supervivencia y crecimiento en repoblación de carrasca y pino carrasco mediante el uso del WB, siendo la mejora más notoria para la carrasca. Una posible explicación de estos resultados radica en la diferente calidad que presentaban las partidas de pino carrasco, destinadas a sendas parcelas. La planta usada en la parcela quemada tenía menor altura (aunque dentro de los límites normales), lo que provocó que la mayor parte del tallo quedara por debajo del nivel del WB, actuando éste como un protector bastante opaco y por tanto reduciendo la radiación para los plantones. Este hecho es especialmente problemático para el pino carrasco respecto a la carrasca, habiéndose probado la disminución del crecimiento radical y por tanto su tasa de arraigo (DEL CAMPO et al., 2008; PUÉRTOLAS et al., 2010;). De hecho, las plantas con mayores dimensiones y con plena disponibilidad de luz solar mostraron mayor supervivencia con WB en la parcela quemada. En ambientes mediterráneos la asignación de recursos hacia el sistema radical es un factor esencial que determina la supervivencia de una especie (LLORET et al. 1999).

Aparte de esta consideración, es evidente que la mejora en el establecimiento con WB está lejos de ser espectacular en las adversas condiciones del monte valenciano. Máxime si se tiene en cuenta las contraprestaciones de coste y rendimiento de plantación que supone el empleo de este sistema. A raíz de los datos obtenidos, parece deducirse que el sistema no libera agua con la suficiente celeridad como para crear unas condiciones de humedad del

suelo claramente favorables. Los elevados volúmenes de agua almacenados al final del periodo estival son una prueba de ello (mayores del 50% de la capacidad). Es, por tanto, recomendable introducir ciertas mejoras en el sistema para que el agua sea liberada en cantidad y frecuencia adecuada cómo para atenuar el efecto de la sequía estival.

Debe considerarse, por otro lado, que unos operarios especializados en este tipo de repoblaciones ofrecerían tiempos totales inferiores y mayores rendimientos. Además, debe tenerse en cuenta que la ejecución de una repoblación con WB tendrá unos tiempos diferentes en terrenos más benignos, como podrán ser zonas con matorral bajo, bancales profundos, etc. Existe un apero específico para realizar el ahoyado de acuerdo a las dimensiones del WB, siempre y cuando la pedregosidad no lo impida (tal y como fue el caso en este estudio).

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la mejora conseguida mediante el uso del WB puede no compensar las contraprestaciones económicas y de rendimiento de su empleo. Si bien es cierto que mejora la supervivencia, es preciso revisar el diseño del mismo de modo que la liberación de agua permita un mayor y más efectivo aporte de agua al suelo, en detrimento del tiempo de suministro. Éste debería estar más orientado a acortar la duración de la sequía que a mantener constantemente el suministro de agua con caudales insuficientes. Queda pendiente para sucesivos estudios evaluar la capacidad de autollenado (rocío, lluvia, pérdidas por evaporación, etc.) del sistema, de modo que no sea preciso el riego de establecimiento que se ha realizado en este trabajo.

6. Agradecimientos

Este trabajo es fruto del interés mutuo de varias partes: la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) que definió el estudio y coordinó y realizó su seguimiento, GROASIS (Sven Kallen) que cedió los WB, Ajuntament de Ontinyent (Deva Sanz) que apoyó en la coordinación y aportó los medios de plantación, Vaersa (David Cayuela) que apoyó en la coordinación y apoyo logístico y la Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda (CMAAUV) de la Generalitat Valenciana (Javier Hermoso de Mena y José Antonio Rueda) que apoyó en la coordinación y cedió el material vegetal. También agradecer muy especialmente a José María Bueno su interés en el impulso y coordinación general de este estudio, que fue posible sin dotación económica específica alguna.

Por último quiero agradecer a Antonio D. del Campo su proximidad, ayuda y tiempo dedicado a este proyecto.

7. Bibliografía

ALLOZA, J.A; 2003 Análisis de repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana. Desarrollo de criterios y procedimientos de evaluación. (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

DEL CAMPO, A.D., A. AGUILELLA, E. GONZÁLEZ, R.M. NAVARRO 2006. Effect of tree shelter design on water condensation and run-off and its potential benefit for reforestation establishment in semiarid climates. *Forest Ecology and Management*, 235: 107-115

DEL CAMPO, A.D.; NAVARRO, R.M.; HERMOSO, J.; IBÁÑEZ, A.J.; 2007. Relationships between site and stock quality in *Pinus halepensis* Mill. reforestations on semiarid landscapes in eastern Spain. *Annals of Forest Science*, 64-7: 719-731

DEL CAMPO, A.D.; NAVARRO, R.M.; AGUILELLA, A; FLORS VILLAVERDE, J. 2008. Influencia microclimática del diseño del tubo protector y respuesta de diez especies forestales al tubo ventilado. *Cuadernos de la SECF*, 28: 81-87

LLORET, F.; CASANOVAS, C.; PEÑUELAS, J. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root: shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology*, 13:210-216.

NAVARRO CERRILLO, R.M.; B. FRAGUEIRO; C. CEACERO; A. DEL CAMPO; R. DE PRADO. 2005. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp. using different weed control strategies in Southern Spain. *Ecological Engineering*, 25: 332-342

NAVARRO-CERRILLO, R. M.; D. ARIZA; L. GONZÁLEZ; A. DEL CAMPO; M. ARJONA; C. CEACERO, 2009. Legume living mulch for afforestation in agricultural land in Southern Spain. *Soil & Tillage Research* (ISSN 0167-1987), 102: 38-44.

PUÉRTOLAS, J.; OLIET, J.A.; JACOBS, D.F.; BENITO, L.F.; PEÑUELAS, J.L. 2010. Is light the key factor for success of tube shelters in forest restoration plantings under Mediterranean climates? *Forest Ecology and Management*, 260 (5): 610–617

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. 1988. Principles and procedures of statistics. A biometrial approach, 2nd ed., McGraw Hill, New York, 622 p.

VILLAR-SALVADOR, P.; J. PUÉRTOLAS; B. CUESTA; J.L. PEÑUELAS; M. USCOLA; N. HEREDIA-GUERRERO; J.M. REY BENAYAS, 2012. Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forests*, 43: 755-770