



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-298

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Establecimiento de *Quercus ilex* L. en sistemas silvopastorales del SE español: efectos del mulch de paja y piedra sobre la humedad del suelo y el crecimiento

JIMÉNEZ, M.N.<sup>1</sup>; PINTO, J.R.<sup>2</sup>; RIPOLL, M.A.<sup>3</sup>; SÁNCHEZ-MIRANDA, A.<sup>3,4</sup>; NAVARRO, F.B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Avda. Fuentenueva s/n, Granada, 18071. mnoelia@ugr.es

<sup>2</sup>USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1221 South Main Street. Moscow, Idaho 83843-4211, USA.

<sup>3</sup>Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA Centro Camino de Purchil, Junta de Andalucía). Camino de Purchil s/no, 18004 Granada, Spain.

<sup>4</sup>IFE-Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza, Aragón

### Resumen

En ambientes mediterráneos secos, las plantaciones de especies del género *Quercus* generalmente presentan bajas tasas de supervivencia y crecimiento. En este trabajo, llevado a cabo en el “Cortijo de Becerra” (altiplano de Guadix, Granada), en el SE de la Península Ibérica (37° 26' N and 3° 5' W), evaluamos los efectos de la aplicación de diferentes tipos de mulches sobre el establecimiento de la encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Def.) Samp.). Se instalaron 4 sensores de humedad (10, 20, 40 y 70 cm de profundidad) en 9 perfiles de suelo donde se plantaron 9 brinzales. Se aplicaron 3 tratamientos de mulch (piedras, paja y control) en la banqueta de plantación. El mulch de paja favoreció la infiltración de agua y el almacenamiento de la misma a 20, 40 y 70 cm. El mulch de piedra (caliche) incrementó la interceptación del agua de lluvia y sólo mejoró la humedad del suelo a 10 y 20 cm con respecto al control, disminuyendo en las capas más profundas. Ambos tipos de mulches incrementaron el número de días de crecimiento de las plantas y disminuyeron el número de días de estrés fisiológico, aunque no se encontraron diferencias significativas para el crecimiento acumulado entre tratamientos al final del período de estudio. En base a estos resultados, sería recomendable el uso de mulch de paja en plantaciones de especies con raíz pivotante y que procedan del vivero en contenedores profundos, mientras que el mulch de piedras similares a las empleadas en este estudio (caliche) podrían ser más indicadas para plántulas de contenedores cortos o especies con sistemas radiculares superficiales.

### Palabras clave

Encina, plantación, dendrómetro, humedad del suelo, estrés fisiológico.

### 1. Introducción

En áreas secas y semiáridas mediterráneas, las plantaciones de especies del género *Quercus* se caracterizan por tener baja supervivencia y lentos crecimientos, aparentemente debido a factores ambientales (PAUSAS et al. 2004). Está ampliamente reconocido que es el primer verano tras la plantación el período más crítico para el arraigo de estas especies debido a la xericidad, que conlleva altas temperaturas, excesiva radiación y escasa disponibilidad de agua (VALLADARES & PUGNAIRE, 1999). Es por ello, que es de gran importancia mejorar las condiciones de humedad del suelo y mitigar las pérdidas por evaporación.

Bajo estas condiciones limitantes, es crucial para las plántulas desarrollar las nuevas raíces a una profundidad suficiente donde se asegure el agua para permitir la supervivencia durante el primer verano (VILLAR-SALVADOR et al. 2012). Por tanto, es crucial el desarrollo de técnicas de restauración que maximicen la disponibilidad de recursos para las especies introducidas, especialmente durante el primer período post-plantación (VALLEJO et al. 2012).

La aplicación de mulch es ampliamente utilizado como tratamiento post-plantación en agricultura, sistemas forestales y restauración ambiental para mejorar el



establecimiento de las plantas (NAVARRO et al. 2010; GARCÍA-MORENO et al. 2013). En general, los mulches con paja, plástico, piedras, residuos forestales, etc.. pueden mejorar las condiciones del suelo, tal como humedad, escorrentía, temperatura, disponibilidad de nutrientes (DEVINE et al. 2007; GUO et al. 2010) y las propiedades físicas del mismo (densidad aparente, porosidad, estabilidad de los agregados) (JORDÁN et al., 2010).

En ambientes mediterráneos, numerosos estudios han examinado el uso de diferentes mulches como técnica post-plantación en plantaciones de encinas para mejorar la supervivencia y crecimiento de las plántulas (NAVARRO-CERRILLO et al. 2005; LARCHEVÊQUE et al. 2006; VALDECANTOS et al. 2009; CEACERO et al. 2012). Existen también trabajos que evalúan los efectos de los mulches de piedra y plástico sobre la conservación del agua en el suelo en cultivos de zonas secas y en sistemas forestales (DEVINE et al. 2007; GUO et al. 2010; BAKKER et al. 2012; VALDECANTOS et al. 2014). Sin embargo, la información sobre el uso de piedras o paja como mulch en el Mediterráneo es actualmente escasa (JIMÉNEZ et al. 2007; JIMÉNEZ et al. 2016), especialmente aquellos trabajos que cuantifican los cambios en la humedad del suelo a lo largo de un período largo de tiempo.

Es por ello que en éste trabajo nos planteamos los siguientes objetivos: investigar si los mulches mejoran el contenido de humedad del suelo en ambiente semiárido Mediterráneo, y analizar la respuesta en campo de brinzales de encina cultivados en contenedor de tamaño no convencional. Nuestra hipótesis es que estas técnicas de bajo coste y de fácil disponibilidad, podrían mejorar las condiciones de humedad del suelo y el éxito de las plantaciones.

## 2. Material y métodos

La zona de estudio está situada en el “Cortijo de Becerra” (altiplano de Guadix, Granada), en el SE de la Península Ibérica. Se trata de una zona agrícola abandonada desde 1993, de topografía llana y homogénea, con precipitación media anual histórica de 320 mm y una fuerte irregularidad. El suelo es un calcisol pétrico (IUSS Working Group 2006) con una textura franco arcillo arenosa. Las principales características del suelo en los primeros 30 cm son las siguientes: CaCO<sub>3</sub> 38,2%, gravas 38,4%, densidad aparente media 0,88 g/cm<sup>3</sup>, pH 8,4, contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo 14,2% (a 33 kPa), contenido de humedad en el punto de marchitamiento 10,2% (1500 kPa), y conductividad eléctrica < 1 dS m<sup>-1</sup>.

En Marzo de 2010 se plantaron 9 brinzales (3 por cada tratamiento) de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Samp.) de entre 6 y 7 años de edad. Estas plantas estaban en contenedores de 24 l (32 cm de profundidad y 35 cm de diámetro). Al mismo tiempo que se realizó la plantación, se seleccionaron 5 brinzales al azar y se hizo un análisis destructivo de biomasa en laboratorio. La biomasa seca media ( $\pm$  error estándar) de hojas, tallos y raíces fueron 59,2 g ( $\pm$  5,7), 260,0 g ( $\pm$  27,1) y 160,1 g ( $\pm$  24,0), respectivamente. La preparación previa del terreno consistió en un ahoyado con retroexcavadora. Antes de realizar la plantación, se instalaron 4 sensores de humedad del suelo ECH<sub>2</sub>O® (20 x 3,2 cm, Decagon Devices®, Pullman, WA, USA) a 10, 20, 40 y 70 cm de profundidad en cada hoyo (4 x 9 = 36). Los sensores se colocaron horizontalmente en el suelo. Se recogieron datos de humedad volumétrica (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>) con dataloggers HOB0® (U12 de 4 canales externos, Meteo-U12-006) cada 30 minutos desde Marzo de 2010 hasta Noviembre de 2012 (988 días). Después de la plantación e instalación de los sensores de humedad, se aplicaron 2 tratamientos de mulch (más uno control) aleatoriamente en la banqueta de plantación. Se aplicó mulch de paja de un grosor entre 15-20 cm sobre una superficie de 1 x 1 m, y mulch de piedras (caliche) que también cubrían una superficie de 1 x 1 m, formando una capa con un grosor entre 20-40 cm. Inmediatamente después de la plantación, se aplicó un riego y éste se repitió 3 veces durante el primer verano. Finalmente, los brinzales fueron protegidos frente a herbívoros y ganado



con un protector de malla de 1 m. de altura.

Desde Mayo 2011 y Noviembre 2012 el crecimiento de los brinzales fue monitorizado mediante cambios en la variación de la circunferencia del tallo (SCV, stem circumference variation), usando dendrómetros digitales de circunferencia DC2 (rango 15 mm; precisión  $\pm 2$  mm, Ecomatik©, Munich, Germany). Los dendrómetros se instalaron en 9 plantas (3 x tratamiento más el control) a 60 cm sobre el nivel del suelo. Se recogieron datos cada 30 minutos con dataloggers (HOBO® U12). A partir de esos datos y siguiendo el protocolo descrito por FERNÁNDEZ & CUEVAS (2010), se calcularon los índices: máxima contracción diaria del tallo (MXSC), crecimiento diario ( $DG = MXSC_{DOY+1} - MXSC_{DOY}$ ; DOY=día del año) y crecimiento acumulado ( $CG = \sum_{DOY-N}^{DOY} DG$ ; para N días).

A partir del crecimiento acumulado (CG), calculamos el período de crecimiento (GP) y el período de decrecimiento (DP). Definimos GP como el número de días de crecimiento positivo. Éste período incluía los días de crecimiento comprendidos en primavera de 2011 y 2012, y otoño de 2012. Definimos DP como el número de días en los cuales había crecimiento negativo, indicando procesos de estrés hídrico. En general, este período correspondió a los días de estrés fisiológico durante los veranos de 2011 y 2012.

Se realizaron varios análisis estadísticos para establecer los efectos de los tratamientos con mulch sobre el contenido de humedad del suelo y su efecto a lo largo del tiempo. Se aplicó un análisis de la varianza de medidas repetidas (RM-ANOVAs) usando un nivel de confianza del 95 %, a los datos de humedad del suelo. Se hicieron análisis entre tratamientos en cada profundidad y entre profundidades dentro de cada tratamiento de mulch. Además, se llevó a cabo un análisis factorial de 2 vías para evaluar el efecto de los factores “mulch” y “período” (GP y DP) sobre el número de días de crecimiento o decrecimiento de las plantas. Se aplicó el test de comparaciones múltiples de Tukey's, asumiendo igualdad de varianzas. Los análisis se realizaron con el software estadístico R (versión 2.15.1; R Development Core Team 2013), usando la library Rcmdr (FOX, 2005), y Statistix 8 (Analytical Software®, Tallahassee, Florida, USA). El nivel  $\alpha$  para la significación estadística fue 0,05 en todos los casos.

### 3. Resultados

El contenido de humedad medio diario mostró diferencias significativas entre tratamientos a 10, 20, 40 y 70 cm ( $p < 0,001$ , Tabla 1). El factor “tiempo” también tuvo un efecto significativo sobre la humedad del suelo en todas las profundidades ( $p < 0,001$ ), así como la interacción “mulch x tiempo” ( $p < 0,001$ ). El mulch de paja presentó significativamente valores más bajos de humedad que el control a 10 cm, mientras que a 20, 40 y 70 cm se observaron valores significativamente más altos (Figura 1). Por el contrario, el mulch de piedras proporcionó más humedad que el control a 10 y 20 cm, mientras que los valores a 40 y 70 cm fueron significativamente más bajos que el control. El mulch de piedras presentó más contenido en humedad a 10 cm que el mulch de paja, mientras que esto fue al contrario a 40 y 70 cm.

El contenido de humedad medio diario mostró diferencias significativas entre profundidades dentro de cada tratamiento ( $p < 0,001$ , Tabla 2). El factor “tiempo” también tuvo un efecto significativo en todos los tratamientos ( $p < 0,001$ ), mientras que la interacción “profundidad x tiempo” no tuvo ningún efecto ( $p = 1$ ). En el tratamiento control, el contenido de humedad medio diario incrementó con la profundidad, aunque a 10 y 20 cm no hubo diferencias (Figura 1). En el tratamiento con mulch de piedras, el valor más bajo se presentó a 40 cm mientras que el más alto estaba a los 70 cm. En el tratamiento con mulch de paja, la humedad fue aumentando significativamente con la profundidad.



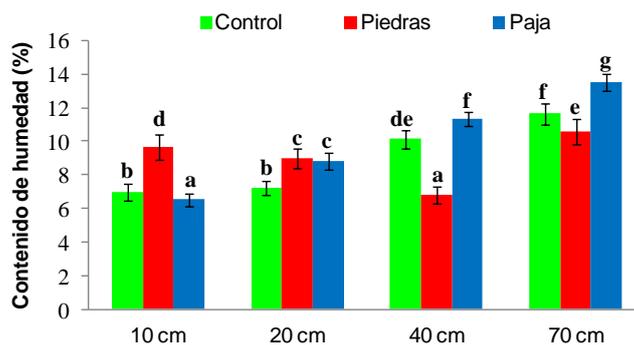
**Tabla 1.** Resultados del RM-ANOVAs aplicado a datos de humedad volumétrica del suelo para los diferentes tratamientos de mulch (T), períodos (P) e interacción entre ambos factores (TxP) en las 4 profundidades estudiadas (10, 20, 40 y 70 cm).

Profundidad		Tratamiento (T)	Período (P)	T x P
10	df	2	660	1320
	F	371,562	16,993	0,647
	p	<0,001	<0,001	1
20	df	2	930	1860
	F	89,540	9,454	0,296
	p	<0,001	<0,001	1
40	df	2	657	1314
	F	808,247	5,00	0,396
	p	<0,001	<0,001	1
70	df	2	848	1696
	F	479,313	7,232	0,286
	p	<0,001	<0,001	1

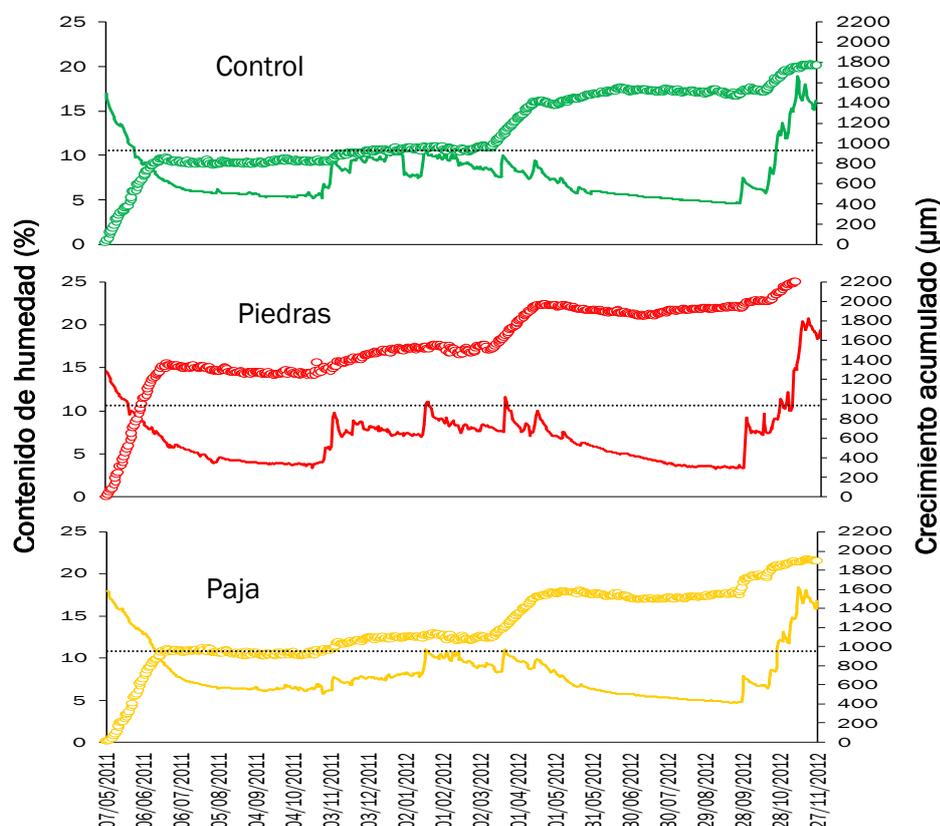
**Tabla 2.** Resultados del RM-ANOVAs aplicado a datos de humedad volumétrica del suelo para la profundidad (P), período (P) e interacción entre ambos factores (PxP), en los tres tratamientos estudiados (control, piedras y paja). Las diferencias significativas se muestran en negrita.

Tratamiento		Profundidad (D)	Período (P)	D x P
Control	df	3	868	2604
	F	704,225	9,531	0,394
	p	<0,001	<0,001	1
Piedras	df	3	620	1860
	F	182,016	6,154	0,437
	p	<0,001	<0,001	1
Paja	df	3	987	2961
	F	2366,933	16,916	1,004
	p	<0,001	<0,001	0,442

Desde Mayo 2011 hasta Noviembre 2012, el crecimiento acumulado de las plantas ( $n=3$ ) no varió significativamente entre tratamientos ( $p=0,7789$ ,  $df=2$ ;  $F=0,27$ ). En general, se encontró el mismo patrón de crecimiento en los tres tratamientos (datos no mostrados). En el verano de 2011, los brinzales de encina pararon su crecimiento en el tratamiento control a un valor de humedad medio de 7,7% (17 Junio), en el tratamiento de piedras a 7,6 % (13 Junio) y en la paja a 8,8 % (25 Junio). Sin embargo, la humedad del suelo estaba por encima de esos valores durante los períodos de crecimiento a 70 cm (Figura 2). Durante el período de medición, los datos mostraron 3 períodos de crecimiento (primavera 2011 y 2012, y otoño 2012) y 2 períodos de decrecimiento (verano 2011 y 2012). En general, durante todo el período de estudio hubo más días de decrecimiento o contracción ( $272\pm 4,99$ ) que de crecimiento ( $168\pm 4,99$ ) y esas diferencias fueron significativas ( $p=0,0000$ ,  $df=1$ ;  $F=211,04$ ). Concretamente, el tratamiento control mostró significativamente menos días de crecimiento ( $124,5\pm 4,5$ ) y más días de decrecimiento ( $335,5\pm 3,5$ ) que en los tratamientos con mulch ( $p=0,0000$ ,  $df=2$ ;  $F=54,16$ ; ver Fig. 3).

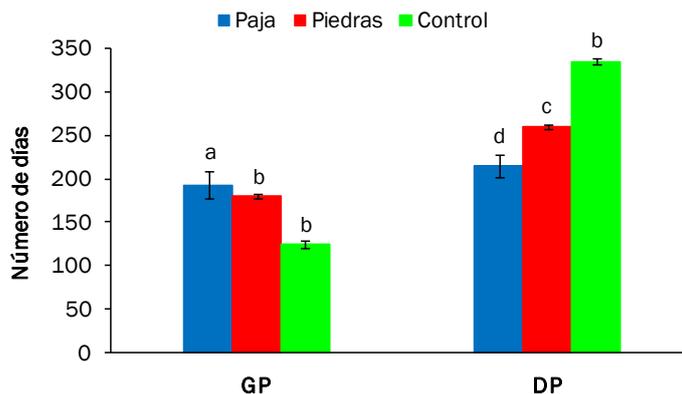


**Figura 1.** Valores medios ( $\pm$ ES) del contenido de humedad volumétrica (%) para los tratamientos control, piedras y paja a 10, 20, 40 y 70 cm de profundidad. Letras distintas (RM ANOVA) indica diferencias significativas entre tratamientos y profundidades. Se aplicó el test Tukey's a un nivel de significación del 95%.



**Figura 2.** Crecimiento medio acumulado (círculos,  $n=3$ ) y contenido de humedad a 70 cm de profundidad para los tratamientos control, piedras y paja desde Mayo 2011 a Noviembre 2012. La línea punteada horizontal a 10,2% de contenido de humedad indica el punto de marchitamiento (1500 kPa) en el suelo no alterado.





**Figura 3.** Número de días (media  $\pm$  ES) de período de crecimiento (GP) y período de decrecimiento (DP) para los tratamientos control, piedras y paja desde Mayo 2011 a Noviembre 2012. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos y períodos (Test Tukey,  $p < 0,05$ ).

## 5. Discusión

Los valores de humedad recogidos en este estudio fueron similares a los encontrados en otros trabajos realizados en diferentes regiones del mundo bajo similares condiciones ambientales (MA & LI 2011; RHOADES et al. 2012; PULIDO et al. 2014). Valores mínimos de humedad media diaria se midieron en las capas superiores del perfil mientras los valores más altos fueron registrados en las capas inferiores. Nuestros datos también siguieron el ciclo Mediterráneo esperado de períodos de humedad y sequía, para todos los tratamientos y profundidades analizadas, con una rápida recarga durante el otoño-invierno y una menor rapidez de secado durante los períodos de primavera y verano.

El mulch de paja mostró una mayor capacidad de almacenamiento de humedad a lo largo de todo el perfil del suelo (excepto a 10 cm). JORDÁN et al. (2010) y RHODES et al. (2012) también encontraron los mismos resultados. JORDÁN et al. (2010) atribuyó esos efectos del mulch de paja a la mejora de la porosidad del suelo, la estabilidad de los agregados, más materia orgánica, menor densidad aparente, y por tanto, mejora de la infiltración y capacidad de agua disponible. Sin embargo, esos estudios fueron llevados a cabo sólo en los primeros 10 cm del perfil del suelo. Nuestros valores de humedad a 10 cm fueron ciertamente más bajos; es posible que la mejora de la infiltración debida al mulch de paja permita una mayor cantidad de agua que se filtra en las capas más profundas del perfil, y por eso encontramos menos humedad en los primeros 10 cm, especialmente durante el invierno y primavera de 2011, cuando la precipitación incrementó la humedad del suelo bajo el mulch de paja hasta un máximo del 15 %. La humedad aumentó de forma continuada en las capas más profundas del suelo, alcanzando a 70 cm una humedad del 26%. Los tratamientos control y mulch de piedras recibieron la misma precipitación pero mostraron contenidos en humedad mayores en las capas menos profundas y valores más pequeños en las capas profundas del perfil (datos no mostrados). Un posible beneficio de la mayor infiltración es mostrar mayor capacidad de almacenamiento de agua en profundidad después de cesar la precipitación, como ocurre en el tratamiento de mulch de paja (datos no mostrados). VALDECANTOS et al. (2009) observó lo mismo en hoyos de plantación con mulch, comparándolos con hoyos sin mulch, especialmente en períodos en los que la disponibilidad de agua era menor. Estos autores, al igual que RHOADES et al. (2012) vincularon este incremento en el contenido en humedad del suelo a la reducción de la temperatura en la superficie del suelo bajo la capa con mulch.

El mulch de piedras mejoró la humedad del suelo con respecto al control, pero sólo en las profundidades  $\leq 20$  cm (Figura 1). Estos resultados podrían ser debidos a la elevada capacidad de almacenamiento de agua del caliche usado como mulch

lítico en nuestro experimento, revelando una interceptación excesiva de precipitación. Este mulch de piedra podría estar actuando como una esponja, mejorando la humedad del suelo sólo en las capas superiores del perfil (10-20 cm), pero dificultando su infiltración en las capas más profundas. En efecto, PÉREZ (2000) y LI et al. (2005) señalaron que hay un umbral de espesor del mulch para evitar una excesiva interceptación de agua, especialmente durante eventos de lluvia escasos y cortos. En este sentido, es necesaria más investigación sobre los efectos de los diferentes materiales cuando son usados como mulch lítico.

En áreas mediterráneas secas, la humedad del suelo es considerada el principal factor limitante para la supervivencia y crecimiento de las plantas. En nuestro estudio, el contenido de humedad del suelo mejoró con los tratamientos de mulch; sin embargo, no aparecieron diferencias significativas en el crecimiento acumulado de los brinzales de encina. Nosotros sospechamos que esto puede ser debido a uno o a la combinación varias razones. Después de la plantación, se aplicaron 3 riegos durante la estación seca; esos riegos causaron visiblemente incrementos en la humedad del suelo a lo largo del perfil. Debido a que las encinas están fisiológicamente adaptadas a vivir en zonas secas (TOGNETTI et al. 1998), presentan crecimientos lentos (IBÁÑEZ et al. 1999), y son oportunistas cuando llega la humedad (FOTELLI et al. 2000), nosotros suponemos que esos riegos pudieron haber anulado las diferencias de establecimiento debidas a los tratamientos. Otro factor puede haber sido el bajo número de replicas ( $n=3$ ), el cual, en combinación con la alta variabilidad genética intrínseca en el género *Quercus* (MICHAUD et al. 1992), probablemente causaron una alta variabilidad en la respuesta de encinas a los tratamientos.

Debido a que la encina es una especie de crecimiento lento, creemos que son necesarios más períodos de muestreo para detectar los efectos del mulch. Los datos recogidos de los dendrómetros digitales revelaron que ambos mulches proporcionaron más días del período de crecimiento y menos días de decrecimiento (días bajo estrés fisiológico) que el control, especialmente el mulch de paja. A pesar de la escasez de diferencias significativas entre tratamientos para los 32 meses del período monitorizado, nosotros sospechamos que ese crecimiento presentará diferencias en el futuro.

## 6. Conclusión

Este experimento en campo de 3 años demostró que la aplicación de mulches de paja y piedras cambiaron espacial y temporalmente el patrón de distribución de la humedad del suelo a través del perfil. Especialmente el mulch de paja, favorecieron la infiltración y almacenamiento de agua a 20, 40 y 70 cm de profundidad. Por el contrario, el mulch de piedras aumentó la interceptación de lluvia (caliza porosa) y sólo mejoró la humedad a 10 y 20 cm con respecto al control, disminuyendo el almacenamiento de agua en las capas más profundas.

Ambos tipos de mulches incrementaron el número de días de crecimiento y disminuyeron el número de días de estrés fisiológico en los brinzales de encina. En vista de estos resultados y teniendo en cuenta las condiciones particulares de campo donde se ha llevado a cabo este experimento, el mulch de paja sería recomendado con el uso de plántulas o brinzales que presenten un sistema radical inicial largo (contenedores > 20cm), mientras el mulch de piedras podría ser adecuado para plántulas pequeñas con un sistema radical inicial más corto (contenedores < 20 cm). Estos hallazgos también ilustran la necesidad de realizar más investigación sobre los efectos del material parental para utilizar como mulch lítico, así como su espesor bajo diferentes condiciones climáticas.

## 7. Bibliografía

Bakker, J.D.; Colasurdo, L.B.; Evans, J.R.; 2012. Enhancing Garry oak seedling performance in a semiarid environment. Northwest Sci. 86: 300-309.



Ceacero, C.J.; Díaz-Hernández, J.L.; Del Campo, A.; Navarro-Cerrillo, R.M.; 2012. Interactions between soil gravel content and neighboring vegetation control management in oak seedling establishment success in Mediterranean environments. *Forest Ecol. Manag.* 271: 10-18.

Devine, W.D.; Harrington, C.A.; Leonard, L.P.; 2007. Post-planting treatments increase growth of Oregon white oak (*Quercus garryana* Dougl. ex Hook.) seedlings. *Restor. Ecol.* 15: 212-222.

Fernández, J.E.; Cuevas, M.V.; 2010. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agr. Forest Meteorol.* 150: 135-15.

Fotelli, M.N.; Radoglou, K.M.; Constantinidou, H.-I.A.; 2000. Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species. *Tree Physiol.* 2: 1065-1075.

Fox, J.; 2005. The R commander: A basic statistics graphical user interface to R. *J. Stat. Softw.* 14(9): 1-42.

García-Moreno, J.; Gordillo-Rivero, A.J.; Zavala, L.M.; Jordán, A.; Pereira, P.; 2013. Mulch application in fruit orchards increases the persistence of soil water repellency during a 15-years period. *Soil Till. Res.* 130: 62-68.

Guo, T.; Wang, Q.; Li, D.; Zhuang, J.; 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope off allow land in the semiarid loess region of northwestern China. *J. Soils Sediments* 10(6): 1200-1208.

Ibáñez, J.J.; Lledó, M.J.; Sánchez, J.R.; Rodà, F.; 1999. Stand structure, aboveground biomass and production. En: Rodà, F.; Retana, J.; Gracia, C.A.; Bellot, J. (eds.): *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Ecological Studies*, 137: 31-46. Springer-Verlag.

IUSS Working Group WRB; 2006. World reference base for soil resources 2006, 2nd edition. *World Soil Resources Reports no. 103.* FAO, Rome.

Jiménez, M.N.; Fernández-Ondoño, E.; Ripoll, M.A.; Castro-Rodríguez, J.; Huntsinger, L.; Navarro, F.B.; 2016. Stones and organic mulches improve the *Quercus ilex* L. afforestation success under Mediterranean climatic conditions. *Land Degrad. Dev.* 27: 357-365.

Jiménez, M.N.; Fernández-Ondoño, E.; Ripoll, M.A.; Navarro, F.B.; Gallego, E.; De Simón, E.; Lallena, A.; 2007. Influence of different post-planting treatments on the development in holm oak afforestation. *Trees-Struct. Funct.* 21: 443-455.

Jordán, A.; Zavala, L.M.; Gil, J.; 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77-85.

Larchevêque, M.; Ballini, C.; Korboulewsky, N.; Montés, N.; 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas: effects on soil properties and young tree seedling. *Sci. Total Environ.* 369: 220-230.

Li, X.Y.; Shi, P.J.; Liu, L.Y.; Gao, S.Y.; Wang, X.S.; Cheng, L.S.; 2005. Influence of pebble size and cover on rainfall interception by gravel mulch. *J. Hydrol.* 312: 70-78.

Ma, Y.J.; Li, X.Y.; 2011. Water accumulation in soil by gravel and sand mulches: influence of textural composition and thickness of mulch layers. *J. Arid Environ.* 75: 432-437.

Michaud, H.; Lumaret, R.; Romane, F.; 1992. Variation in genetic structure

and reproductive biology of Holm oak populations. *Plant Ecol.* 99-100: 107-113.

Navarro, F.B.; Jiménez, M.N.; Gallego, E.; Ripoll, M.A.; 2010. Short-term effects of overstorey reduction and slash mulching on ground vegetation in a Mediterranean Aleppo pine woodland. *Eur. J. Forest Res.* 129: 689-696.

Navarro-Cerrillo, R.M.; Fragueiro, B.; Ceacero, C.; Del Campo, A.; De Prado, R.; 2005. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* Desf. Samp. using different weed control strategies in Southern Spain. *Ecol. Eng.* 25: 332-342.

Pausas, J.G.; Blade, C.; Valdecantos, A.; Seva, J.P.; Fuentes, D.; Alloza, J.A.; Vilagrosa, A.; Bautista, S.; Cortina, J.; Vallejo, R.; 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice – a review. *Plant Ecol.* 171: 209-220.

Pérez, F.L.; 2000. The influence of surface volcanoclastic layers from Haleakala (Maui, Hawaii) on soil water conservation. *Catena* 38: 301-332.

Pulido, F.; Moreno, G.; García, E.; Obrador, J.J.; Bonal, R.; Díaz, M.; 2014. Resource manipulation reveals flexible allocation rules to growth and reproduction in a Mediterranean evergreen oak. *J. Plant Ecol.* 7(1): 77-85.

Rhoades, C.C.; Battaglia, M.A.; Rocca, M.E.; Ryan, M.G.; 2012. Short- and medium-term effects of fuel reduction mulch treatments on soil nitrogen availability in Colorado conifer forests. *Forest Ecol. Manag.* 276: 231-238.

Tognetti, R.; Longobucco, A.; Miglietta, F.; Raschi, A.; 1998. Transpiration and stomatal behaviour of *Quercus ilex* plants during the summer in a Mediterranean carbon dioxide spring. *Plant Cell Environ.* 21: 613-622.

Valdecantos, A.; Baeza, M.J.; Vallejo, V.R.; 2009. Vegetation management for promoting ecosystem resilience in fire-prone Mediterranean shrublands. *Restor. Ecol.* 17(3): 414-421.

Valdecantos, A.; Fuentes, D.; Smanis, A.; Llovet, J.; Morcillo, L.; Bautista, S.; 2014. Effectiveness of low-cost planting techniques for improving water availability to *Olea europea* seedlings in degraded drylands. *Restor. Ecol.* 22(3): 327-335.

Vallejo, V.R.; Smanis, A.; Chirino, E.; Fuentes, D.; Valdecantos, A.; Vilagrosa, A.; 2012. Perspectives in dryland restoration: approaches for climate change adaptation. *New Forest* 4: 561-579.

Valladares, F.; Pugnaire, F.I.; 1999. Tradeoffs between irradiance capture and avoidance in semi-arid environments assessed with a crown architecture model. *Ann. Bot.* 83: 459-469.

Villar-Salvador, P.; Puértolas, J.; Cuesta, B.; Peñuelas, J.L.; Uscola, M.; Heredia-Guerrero, N.; Rey-Benayas, J.M.; 2012. Increase in size and nitrogen concentration enhances seedling survival in Mediterranean plantations. Insights from an ecophysiological conceptual model of plant survival. *New Forest* 43(5): 755-770.

