



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1748

Organiza





Reciclar para restaurar: efecto de la transmisividad del plástico reciclado de origen agrario en la supervivencia de especies forestales

MARTÍN GÓMEZ, S. (1), OLIET PALA, J. (2,3), FERNÁNDEZ MOYA, J. (2,3), FERNÁNDEZ VILLANUEVA, D. (2), PUÉRTOLAS SIMÓN, J. (4) y BENAVIDES R. (2,3)

1. Grupo Sylvestris.
2. Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural.
3. Centro de I+D+i para la Conservación de la Biodiversidad y el Desarrollo Sostenible (CBDS-UPM)
4. Universidad de La Laguna. Facultad de Farmacia.

Resumen

La supervivencia en las restauraciones forestales mediterráneas se ve afectada por factores bióticos y abióticos como la predación y la sequía. Para limitar su efecto, es frecuente la instalación de tubos protectores de plástico, que reducen la mortalidad por herbivoría y mejoran la supervivencia y el desarrollo de la planta debido a las condiciones microclimáticas dentro de los tubos. No obstante, el material con el que se fabrican proviene de una fuente no renovable y no se recicla debido al abandono generalizado de este producto en los bosques. En el marco del proyecto RecForest se han instalado cuatro parcelas de plantación en España, tres en la Península con cuatro especies cada una y una en el archipiélago canario con dos especies distintas. Los resultados de esta primera investigación son prometedores ya que los tubos fabricados con plástico reciclado tienen mejores tasas de supervivencia que las mallas y que el tubo hecho únicamente con plástico virgen.

Palabras clave

Tubos protectores, RecForest, supervivencia, microclima.

1. Introducción

La restauración forestal en los ecosistemas mediterráneos es fundamental con el fin de prevenir la erosión y degradación del suelo (FERNÁNDEZ-ONDOÑO et al., 2010). Sin embargo, la supervivencia de las plántulas se ve limitada por diversos factores, tales como la alta radiación, la depredación, las altas temperaturas y la calidad del suelo; pero, sobre todo está limitada por el déficit de agua (PEMÁN et al., 2010). La sequía estival es el mayor factor limitante en estos ecosistemas (OLIET et al., 2015; RIPULLONE et al., 2020; VILLAR-SALVADOR et al., 2012), especialmente en zonas áridas y semiáridas (OLIET et al., 2023; PADILLA et al., 2011). Una de las medidas más utilizadas en estas localizaciones con condiciones ecológicas limitantes es el uso de tubos individuales de plástico (DE CASTRO et al., 2014; PEMÁN et al., 2010) ya que se ha visto que protegen frente a la herbivoría e incrementan la supervivencia y el crecimiento de las plantas debido a la mejora de las condiciones microclimáticas que se originan dentro del tubo (OLIET et al., 2019;



PIÑEIRO et al., 2013).

Los tubos protectores normalmente están hechos de plásticos como el polietileno o el polipropileno, pero en cualquier caso provienen directamente del petróleo. Como este material viene de fuentes no renovables y no se recicla, su fabricación y uso en los términos actuales provoca un incremento en la cantidad de residuos de este material (URREAGA et al., 2020). La elevada huella de carbono de los plásticos fabricados con petróleo (BERNABÉ VÍRSEDA et al., 2024) junto al escenario medioambiental en el que vivimos actualmente, ha obligado a replantear la forma en la que fabricamos y empleamos los materiales plásticos.

Este estudio se realiza dentro del proyecto RecForest, el cual tiene como objetivo cambiar esta dinámica fabricando tubos de polietileno y polipropileno con plásticos procedentes de residuos agrícolas y que sean de larga duración para que se puedan recoger al finalizar su vida útil. En este estudio se ha trabajado con tubos individuales de plástico hechos de dos polímeros de base (polietileno y polipropileno) que en su composición tienen una cantidad variable de plástico reciclado proveniente de residuos agrícolas y de plástico virgen. El porcentaje de plástico reciclado y plástico virgen cambia para la fabricación de diferentes tipos de tubo. En particular, las propiedades ópticas de los tubos son diferente según la composición, modificando la cantidad de luz que le llega a la planta. Como se ha demostrado en estudios previos, la transmisividad del tubo puede afectar tanto la supervivencia como la fisiología de las plantas (OLIET et al., 2015; PADILLA et al., 2011). Además, la respuesta de las plantas a estas propiedades varía según la especie y las condiciones climáticas (OLIET et al., 2019, 2021). Dado que existen pocas investigaciones previas sobre el efecto de la transmisividad en condiciones de campo, este estudio se presenta como una investigación novedosa, considerando además el origen reciclado de los materiales ensayado.

2. Objetivos

Evaluar el efecto de las propiedades ópticas de diferentes mezclas de materiales fabricados a partir de plástico reciclado, sobre la supervivencia en campo de varias especies forestales en distintas condiciones ecológicas.

3. Metodología

Áreas de estudio

El estudio se llevó a cabo en parcelas de una hectárea en ubicaciones diferentes de la Península Ibérica. La parcela establecida en el municipio de San Bartolomé de Pinares en Ávila (Castilla y León) es una zona de dehesa no arbolada con vegetación de pastos y rodeada de *Quercus ilex* y *Pinus pinea* que está a 1145 m de altitud. Tiene un clima oceánico mediterráneo (CSB) según la clasificación Köppen (IGN, n.d.) con un clima seco y fresco de veranos templados (CHAZARRA BERNABÉ



et al., 2022). La temperatura media anual es de 12.2 °C y el promedio de precipitación anual es de 534 mm (CLIMATE-DATA SAN BARTOLOMÉ DE PINARES, n.d.).

La parcela establecida en el municipio de Piornal en Cáceres (Extremadura) está ubicada en una zona con *Quercus pyrenaica*, *Pinus sylvestris* y *Erica* sp. a 1367 m de altitud. Tiene un clima mediterráneo (CSA) según la clasificación Köppen (IGN, n.d.), diferenciándose del anterior en los veranos ya que este tipo de clima tiene veranos más calurosos. La temperatura media de Piornal son 13.5 °C y el promedio de precipitación anual es de 957 mm (CLIMATE-DATA PIORNAL, n.d.).

La parcela situada en el municipio de Fasnia en Tenerife (Canarias) está ubicada cerca de una plantación de *Pinus canariensis* a 1484 m de altitud. Tiene un clima semiárido frío (BSK) según la clasificación Köppen (IGN, n.d.) caracterizado por la ausencia de precipitaciones. La temperatura media anual es de 18.1 °C y las precipitaciones medias anuales son de 305 mm (CLIMATE-DATA FASNIA, n.d.), no obstante las precipitaciones del 2023-2024 estuvieron muy por debajo de la media (<100 mm), por lo que se realizaron riegos mensuales de 3 litros por planta.

La cuarta parcela se estableció en el municipio de San Fernando de Henares en Madrid en una zona de ribera con algunos ejemplares de *Salix* sp., *Populus* sp. y *Tamarix* sp. a una altitud de 557 m. Tiene un clima semiárido frío (BSK) según la clasificación Köppen (IGN, n.d.) caracterizado por la ausencia de precipitaciones. La temperatura media anual es de 14.8 °C y las precipitaciones medias anuales son de 455 mm (CLIMATE-DATA SAN FERNANDO DE HENARES, n.d.).

Diseño experimental

Además de las especies que se detallarán a continuación, se utilizaron seis tipos de tubo, tres hechos con polietileno (PE) y tres hechos con polipropileno (PP), y una malla utilizada como control. Para los tubos de polietileno se han empleado tres mezclas de plástico, desde el virgen hasta el 100% reciclado, lo cual les otorgan unas propiedades ópticas diferentes en función de la composición dando una transmisibilidad de 75-63-35 % aproximadamente. Los tubos de polipropileno tienen la misma composición, por lo que sus propiedades ópticas se controlaron en función de la cantidad de colorante que se le aplicó a cada uno dando una transmisibilidad de 90-38-20 % aproximadamente (Figura 1).

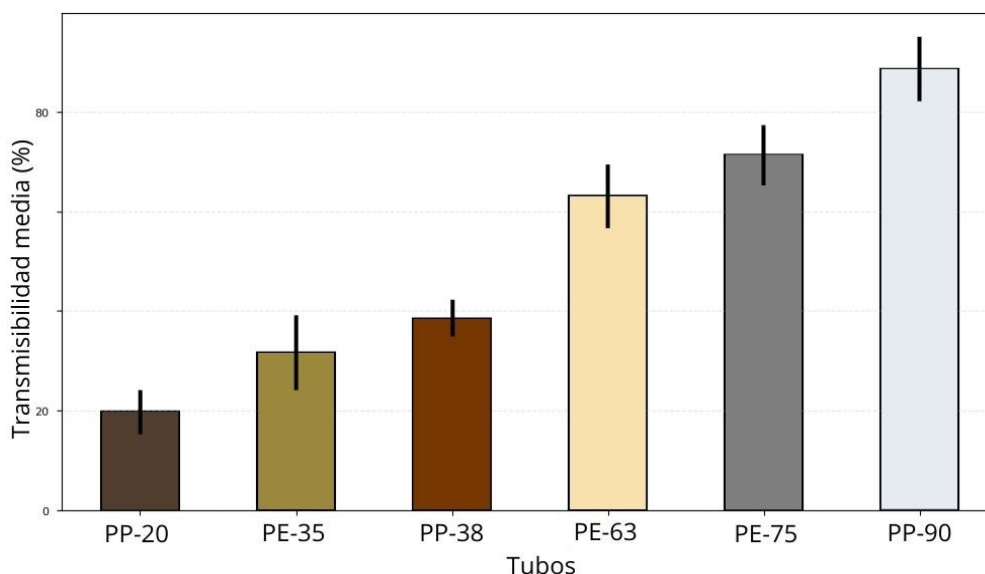


Figura 1. Transmisibilidad relativa media de cada tubo de polietileno (PE) y polipropileno (PP).

Este análisis se ha realizado con los datos obtenidos a lo largo del año 2024. A pesar de que la ventana de tiempo no fue muy amplia, el experimento se instaló en invierno y los datos se recogieron antes y después de la sequía estival, factor crítico en los ecosistemas mediterráneos (OLIET et al., 2019). En todas las parcelas se realizó un subsolado como tratamiento del suelo previo a las plantaciones, a excepción de la de Tenerife, donde se realizó un ahoyado en el que se instalaron dos plantas por hoyo.

En invierno del 2023-2024 se instalaron las plantaciones en cada parcela de estudio, comenzando en diciembre del 2023 por la situada en la Finca Caserío del Henares (San Fernando de Henares, Madrid), donde se plantaron un total de 1577 plántulas de *Crataegus monogyna*, *Quercus faginea*, *Quercus ilex* y *Ulmus minor*. En febrero del 2024 se instaló la parcela de la Junta de Castilla y León en el municipio de San Bartolomé de Pinares (Ávila, Castilla y León), donde se plantaron un total de 1421 plántulas de *Crataegus monogyna*, *Quercus ilex*, *Acer monspesulanum* y *Juniperus oxycedrus*. Ese mismo mes se instaló la parcela de la isla de Tenerife (Canarias) en el municipio de Fasnia, donde se plantaron un total de 633 plántulas de *Juniperus cedrus* y *Pinus canariensis*. Debido a la falta de disponibilidad de planta este ensayo, tuvo que reducirse de cuatro a dos especies, en una de las cuales sí se ensayaron todos los tubos junto a la malla, pero en la otra especie (*Juniperus cedrus*) solo se pudo realizar el ensayo en los tubos de polietileno y en la malla. La instalación de la última parcela se realizó en marzo del año 2024 en el municipio de Piornal (Cáceres, Extremadura) donde se plantaron un total de 1522 plántulas de *Crataegus monogyna*, *Quercus faginea*, *Castanea sativa* y *Pinus sylvestris*.

En todas las parcelas de la Península se realizó un primer control de la mortalidad en primavera para establecer la mortalidad debida al impacto de la



plantación; y otro en otoño durante la fase de establecimiento. En la parcela de Tenerife se realizaron conteos mensuales, pero para el análisis de datos se han utilizado los datos del primer mes después de plantar (marzo del 2024) y los últimos recogidos (noviembre del 2024).

Tratamiento estadístico

Se realizaron los mismos tipos de análisis con los datos de cada parcela de forma independiente. En todos los casos se analizó solo la supervivencia obtenida al final del verano eliminando los que no habían sobrevivido al arraigo y las muertes por predación en la parcela de San Fernando de Henares.

Se emplearon Modelos Lineales Generalizados (GLM) para analizar los datos con distribución binomial obtenidos de este ensayo. Con este análisis se busca identificar las relaciones entre supervivencia y la interacción entre el tipo de tubo y la especie. Todo ello se realizó con R y con los paquetes de dplyr, forcats, ggplot2 y patchwork.

4. Resultados

En el caso de la parcela de Ávila, de 1421 individuos que se plantaron 780 plantas murieron, lo que supone el 45.10% de supervivencia. En la Figura 2 se observa la supervivencia en proporción a los individuos totales plantados inicialmente.

El GLM empleado con estos datos es significativo. Por una parte, hay efectos principales significativos en relación con la especie *Crataegus monogyna*, la especie con mayor tasa de supervivencia, y *Acer monspesulanum*, la especie con menor tasa de supervivencia. Con respecto a *Quercus ilex* solo se obtienen resultados significativos en relación a la interacción entre esta especie y los tubos con los que tiene mayores tasa de supervivencia: PE-63 y PP-20, siendo este último el tubo con menos transmisibilidad; mientras que con *Juniperus oxicedrus* no se obtuvo ningún resultado significativo, no obstante, en la Figura 2 se observa que la supervivencia es ligeramente mayor con el tubo PP-90.

En el caso de *Acer monspesulanum* y de *Crataegus monogyna*, obtuvieron mejores tasas de supervivencia con los tubos hechos de polietileno que con los fabricados con polipropileno. En esta última especie, el tubo hecho con plástico virgen tuvo peores resultados que los que se fabricaron con plástico reciclado, mientras que en *Acer monspesulanum* el que mejor tasa tiene es el de plástico virgen.

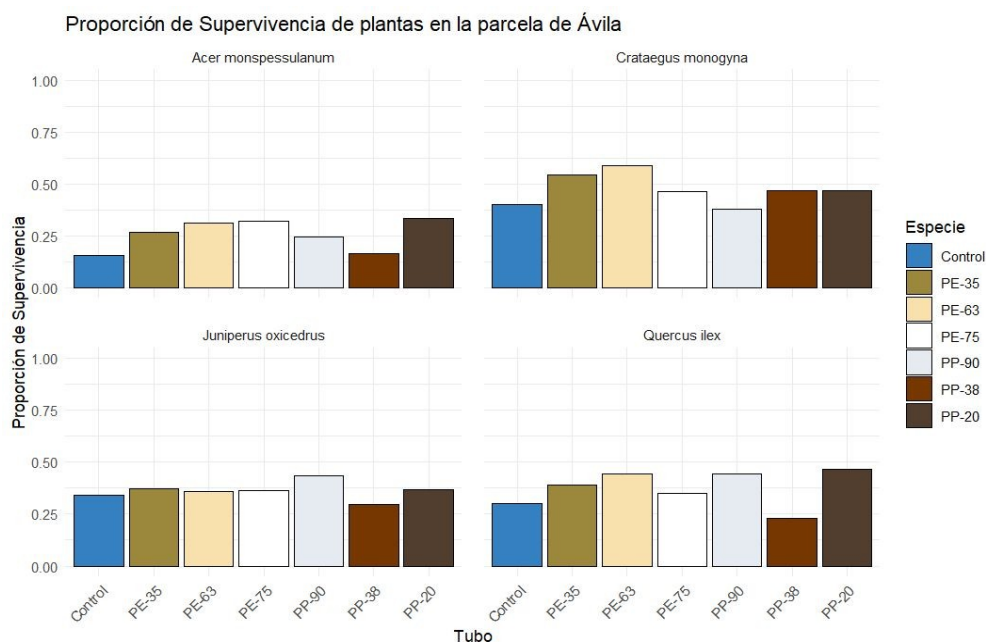


Figura 2. Efecto de los diferentes tubos protectores en la supervivencia (%) de las cuatro especies de la parcela experimental de Ávila después del primer verano de su establecimiento en la parcela.

En el caso de la supervivencia en la parcela de Cáceres (Figura 3), de 1522 individuos plantados se han encontrado 46 marras, lo que supone un 96.97% de supervivencia. El GLM empleado con estos datos es significativo únicamente en la interacción entre *Pinus sylvestris* y el tubo PP-38, siendo este el tubo con menor tasa de supervivencia en esta especie. Esto probablemente se deba que las tasas de supervivencia de cada combinación de especie y tubo son, al menos, mayores del 85%. Aunque no hay ningún otro resultado significativo, en la Figura 3 se puede observar la influencia de los tubos en las especies y como en *Castanea sativa* el control es el que menor tasas de supervivencia tiene aunque el resultado no sea significativo.

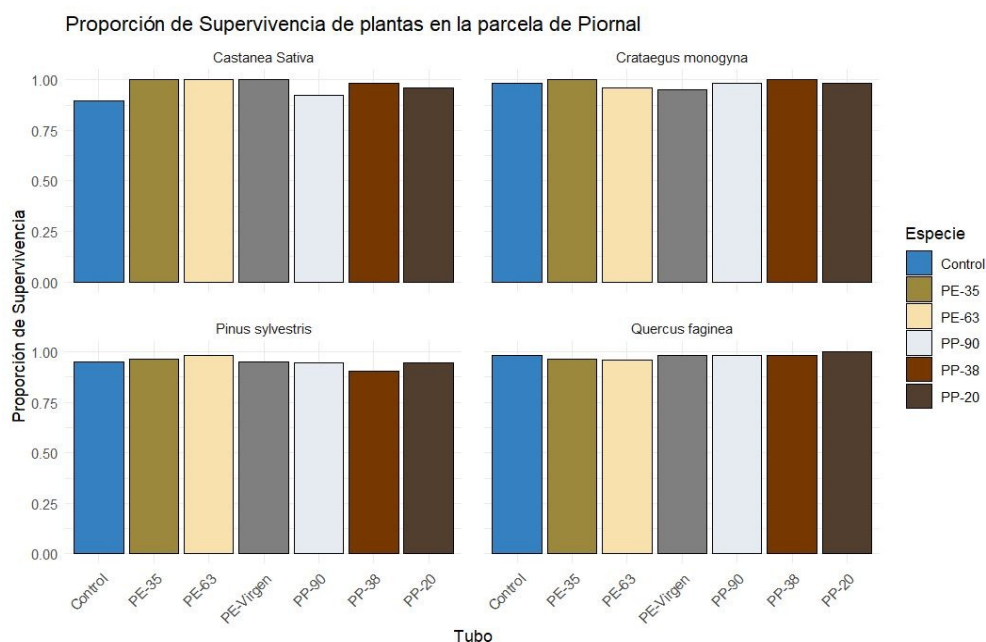


Figura 3. Efecto de los diferentes tubos protectores en la supervivencia (%) de las cuatro especies de la parcela experimental de Cáceres después del primer verano de su establecimiento en la parcela.

En el caso de la parcela de Tenerife (Figura 4), de 632 individuos plantados se han encontrado 357 marras, un 43.51% de supervivencia. El GLM empleado con estos datos es significativo únicamente en relación a la interacción entre *Pinus canariensis* y el factor tubo PP-20, siendo este el tubo que menor tasa de supervivencia tiene en esta especie y el de menor transmisibilidad. En el caso de *Juniperus cedrus* no hay ningún resultado significativo, pero el tubo con más tasa de supervivencia es el de PE-35, el que menor transmisibilidad tiene y el que está fabricado íntegramente con plástico reciclado, y el de menor tasa de supervivencia es el PE-75, el de mayor transmisibilidad y el que está fabricado con plástico virgen.

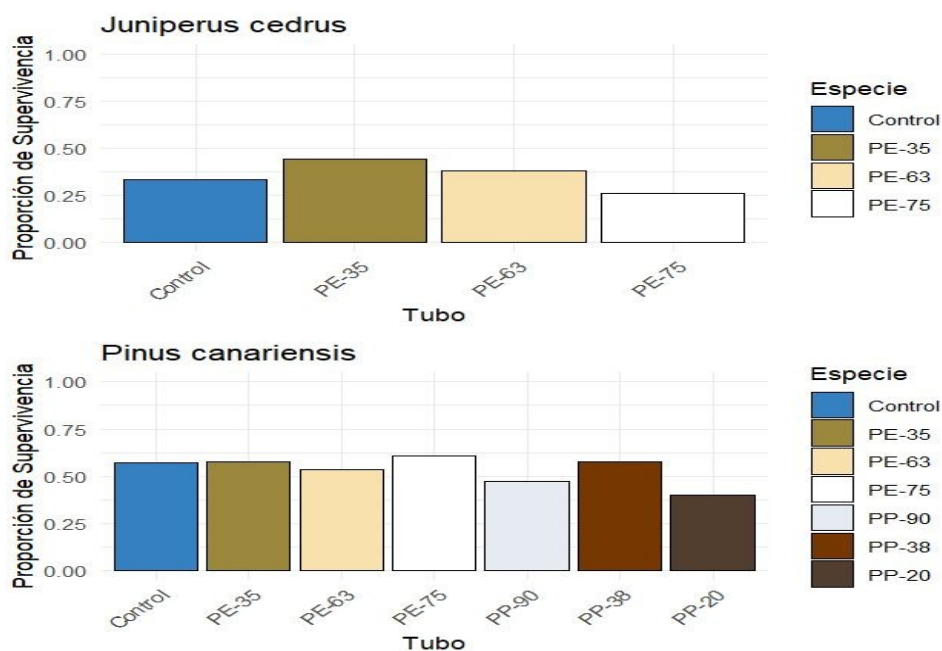


Figura 4. Efecto de los diferentes tubos protectores en la supervivencia (%) de las dos especies de la parcela experimental de Tenerife después del primer verano de su establecimiento en la parcela.

En el caso de la parcela de Madrid (Figura 5), de los 1577 individuos plantados inicialmente, hay 704 marras, lo que supone un 55.34% de supervivencia. Del total de marras, 289 se produjeron por predación de jabalís, lo que supone que un 44% de las marras fueron debidas a la predación. En esta parcela además de eliminar los datos de las plantas que no habían sobrevivido al arraigo, se eliminaron también las muertes por predación. El GLM empleado en estos datos es significativo. Esta es la parcela con mayor cantidad de resultados significativos de las cuatro y estos resultados se ven resumidos en la Tabla 1. En esta parcela se realizaron GLMs de cada especie individualmente con todos los tubos y los resultados son todos significativos.

En la Figura 5 se observa como el control es el que peor tasa de supervivencia ha tenido en todas las especies en comparación con cualquier tubo. Dentro de cada especie se puede observar cómo varía la tasa de supervivencia en función del tubo. En esta parcela, las especies *Crataegus monogyna*, *Quercus faginea* y *Quercus ilex* tienen las mayores tasas de supervivencia con el mismo tubo: PE-63, mientras que el tubo con mayor tasa de supervivencia en *Ulmus minor* es el PE-35. En cualquier caso ambos tubos están fabricados con plástico reciclado, por lo que estos tubos están resultando ser más eficaces que el de plástico virgen y que la malla.

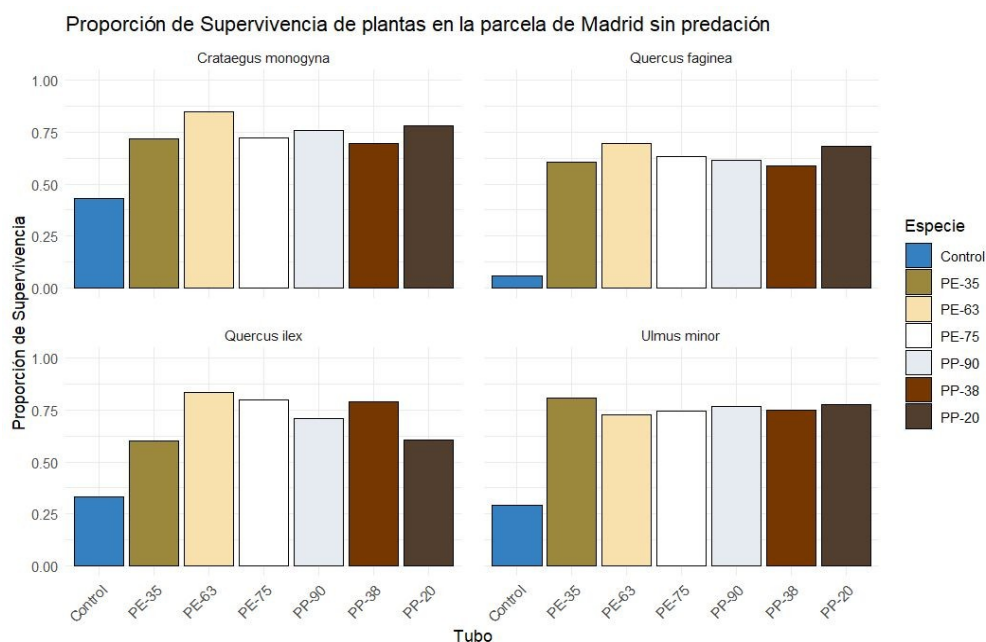


Figura 5. Efecto de los diferentes tubos protectores en la supervivencia (%) de las cuatro especies de la parcela experimental de Madrid después del primer verano de su establecimiento en la parcela.

Tabla 1. Resultados del Modelo Lineal Generalizado de la parcela de Madrid para análisis de la varianza con la supervivencia y las interacciones de especie y tubo. Los niveles de significancia son 0 ‘***’ 0,001; ‘**’ 0,01; ‘*’ 0,05; ‘.’ 0,1; ‘ ’ 1.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Valor z	Pr (> z)	Sign. ajustada
(Intercepto)	-0.2877	0.3118	-0.923		0.3562
<i>Quercus faginea</i>	-2.5455	0.7916	-3.216	0.0013	**
<i>Quercus ilex</i>	-0.4055	0.4521	-0.897		0.36977
<i>Ulmus minor</i>	-0.6103	0.4745	-1.286		0.19842
tuboPE-100	1.2321	0.4432	2.780	0.00543	**
tuboPE-75	2.0307	0.5149	3.944	8.01e-05	***
tuboPE-Virgen	1.2368	0.4613	2.681	0.00734	**
tuboPP-0	1.4363	0.4456	3.223	0.00127	**
tuboPP-0,3	1.1144	0.4471	2.492	0.01269	*
tuboPP-0,6	1.5533	0.4624	3.360	0.00078	***
<i>Quercus faginea</i> :tuboPE-100	2.0285	0.9143	2.219	0.02651	*
<i>Quercus ilex</i> :tuboPE-100	-0.1335	0.6294	-0.212		0.83199
<i>Ulmus minor</i> :tuboPE-100	1.1062	0.6796	1.628		0.10358

<i>Quercus faginea</i>	:tuboPE-75	1.6209	0.9437	1.718	0.08587	.
<i>Quercus ilex</i>	:tuboPE-75	0.3001	0.7368	0.407	0.68378	
<i>Ulmus minor</i>	:tuboPE-75	-0.1423	0.7061	-0.202	0.84026	
<i>Quercus faginea</i>	:tuboPE-Virgen	2.1354	0.9248	2.309	0.02094	*
<i>Quercus ilex</i>	:tuboPE-Virgen	0.8427	0.6901	1.221	0.22203	
<i>Ulmus minor</i>	:tuboPE-Virgen	0.729	0.6804	1.071	0.28395	
<i>Quercus faginea</i>	:tuboPP-0	1.8669	0.9145	2.042	0.0412	*
<i>Quercus ilex</i>	:tuboPP-0	0.1441	0.6376	0.226	0.82114	
<i>Ulmus minor</i>	:tuboPP-0	0.6473	0.6672	0.97	0.3320	
<i>Quercus faginea</i>	:tuboPP-0,3	2.0672	0.9335	2.214	0.0268	*
<i>Quercus ilex</i>	:tuboPP-0,3	0.9138	0.6583	1.388	0.16511	
<i>Ulmus minor</i>	:tuboPP-0,3	0.8822	0.6625	1.332	0.18301	
<i>Quercus faginea</i>	:tuboPP-0,6	2.0471	0.9251	2.213	0.02691	*
<i>Quercus ilex</i>	:tuboPP-0,6	-0.4373	0.6388	-0.685	0.49356	
<i>Ulmus minor</i>	:tuboPP-0,6	0.5843	0.6775	0.862	0.38843	

5. Discusión

En la Tabla 2 se observa el resumen de los tubos con mayores y menores tasas de supervivencia en función de cada especie y de cada parcela. Dentro de cada parcela se observa que entre los tipos de tubos con mayor supervivencia no se encuentra el control en ningún caso, lo que reitera que la presencia de tubo de plástico protector en climas mediterráneos aumenta la supervivencia de las plantas (OLIET et al., 2019; PIÑEIRO et al., 2013). En el caso de las especies de pino, en estudios anteriores realizados en campo en un clima mediterráneo, se ha visto que el éxito con mallas es mayor que con tubos (OLIET et al., 2023). En este estudio se ha observado que en tubos con baja transmisibilidad las tasas de supervivencia en los pinos son menores, mientras que la tasa de supervivencia aumenta con tubos con transmisibilidades más altas. Sin embargo, la tasa de supervivencia de las mallas solo es ligeramente inferior a las de los tubos con alta transmisibilidad, lo cual implica que no hay diferencias significativas entre ambos. Por ese motivo es interesante seguir realizando estudios con el fin de comprobar el efecto de estos tubos en estas dos especies del género *Pinus*.

Tabla 2. Resumen de los tubos que mayor y menor tasa de supervivencia tienen en función de la especie y la parcela. La recopilación de estos datos es un resumen de los

resultados significativos obtenidos en los GLMs realizados(marcados con un asterisco). Los datos que no tienen asterisco se han obtenido de las gráficas previas (Figuras 2-5), pero no tienen ningún resultado significativo en los Modelos Lineares Generalizados que se han realizado.

Parcela	Especie	Tubo(s) más supervivencia	Tubo(s) menos supervivencia
Ávila	<i>Crataegus monogyna</i>	PE-63*	PP-90
<i>Quercus ilex</i>	PE-63*, PP-20*		PP-38
<i>Acer monspesulanum</i>	PE-63*, PE-75*, PP-20*		Control y PP-38
<i>Juniperus oxycedrus</i>	PP-90		PP-38
Cáceres	<i>Crataegus monogyna</i>	PE-35, PP-38	PE-75
<i>Quercus faginea</i>	PP-20		PE-63
<i>Castanea sativa</i>	PE-35, PE-63, PE-75		Control y PP-90
<i>Pinus sylvestris</i>	PE-63		PP-38*
Tenerife	<i>Juniperus cedrus</i>	PE-35	PE-75
<i>Pinus canariensis</i>	PE-75		PP-20*
Madrid	<i>Crataegus monogyna</i>	PE-63*	Control*
<i>Quercus faginea</i>	PE-63*		Control*
<i>Quercus ilex</i>	PE-63*		Control*
<i>Ulmus minor</i>	PE-35*		Control*

En este estudio se reitera que las respuestas de las plantas a los tubos varían en función de la especie y el clima (OLIET et al., 2019, 2021). En el caso de *Crataegus monogyna*, presente en las tres plantaciones de la Península, el tubo con mayor tasa de supervivencia en las parcelas de Ávila y Madrid, con clima similares, es el mismo (PE-63) y a su vez diferente del de la parcela de Cáceres (PE-35, PP-38) que tiene un clima muy diferente. Lo mismo pasa con *Quercus faginea* en la parcela de Madrid (PE-63) y en la parcela de Cáceres (PP-20). En el caso de *Quercus ilex*, común a las parcelas de Ávila (PE-63, PP-20) y Madrid (PE-63), los tubos son el mismo y a la vez en Ávila tiene un resultado significativo positivo con el tubo PP-20, cuya transmisibilidad es opuesta al otro.

Este estudio revela un hallazgo interesante y novedoso: en la mayoría de las especies analizadas, los tubos fabricados con plástico reciclado presentan las mayores tasas supervivencia, lo que sugiere el potencial de estos materiales reciclados en la fábrica de estos tubos protectores y en la mejora de los procesos de establecimiento vegetal. En el caso específico de *Acer monspesulanum* y *Castanea*



sativa, tanto los tubos de plástico reciclado como el de plástico virgen mostraron resultados igualmente favorables.

6. Conclusiones

Los resultados resaltan, por una parte, la importancia de poner tubos protectores de plástico en las plantaciones con clima mediterráneo, ya que las tasas de supervivencia con los tubos fueron mayores que los obtenidos en las mallas, independientemente del material con el que estén hechos y la transmisibilidad que tengan.

Sin embargo, dentro de los dos tipos de materiales, los tubos de polietileno hechos de plástico reciclado son igual o más eficaces que los que están fabricados con polietileno de plástico virgen (a excepción del *Pinus canariensis*) y con polipropileno (a excepción del *Juniperus oxicedrus* y el *Quercus faginea* en Cáceres).

7. Agradecimientos

Quiero expresar el agradecimiento por parte de todo el equipo de investigación de este estudio a la Finca Caserío de Henares por las facilidades prestadas a la hora de realizar el estudio así como a la Comunidad de Madrid y a WWF por cedernos parte de su parcela de restauración en Madrid. También queremos agradecer a la Junta de Castilla y León y a su equipo de trabajadores del cuerpo de Guardas Forestales la colaboración e interés en este estudio. Me gustaría agradecer a los compañeros de Grupo Sylvestris por su colaboración en el proyecto RecForest y por las facilidades que nos han proporcionado Francisco Martínez Sanz, Andrés Casco y Jose Luis Blanco para poder llevar a cabo la plantación de Extremadura. Asimismo, queremos agradecer al Cabildo de Tenerife el haber podido utilizar esa parcela para realizar el ensayo. Finalmente nos gustaría agradecer la colaboración en el proyecto al equipo de Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid por su diseño en la composición de los tubos y su predisposición a cualquier colaboración interdisciplinar.

8. Bibliografía

- BERNABÉ VÍRSEDA, I., BELTRÁN, F. R., DE LA ORDEN, M. U., & MARTÍNEZ URREAGA, J. (2024). Effects of solid-state polymerization on the structure and properties of degraded poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate). *Polymer Degradation and Stability*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110630>
- CHAZARRA BERNABÉ, A., LORENZO MARIÑO, B., ROMERO FRESNEDA, R., & MORENO GARCÍA, J. V. (2022). *Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020*. <https://doi.org/10.31978/666-22-011-4>
- DE CASTRO, A. V., OLIET, J. A., PUÉRTOLAS, J., & JACOBS, D. F. (2014). Light transmissivity of tube shelters affects root growth and biomass allocation of *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science*, 71(1), 91–99. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0335-3>
- FERNÁNDEZ-ONDOÑO, E., SERRANO, L. R., JIMÉNEZ, M. N., NAVARRO, F. B., DÍEZ, M., MARTÍN, F., FERNÁNDEZ, J., MARTÍNEZ, F. J., ROCA, A., & AGUILAR, J. (2010). Afforestation improves soil fertility in south-eastern Spain. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 707–717. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0376-1>



- OLIET, J. A., BLASCO, R., VALENZUELA, P., MELERO DE BLAS, M., & PUÉRTOLAS, J. (2019). Should we use meshes or solid tube shelters when planting in Mediterranean semiarid environments? *New Forests*, 50(2), 267–282. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9659-z>
- OLIET, J. A., PLANELLES, R., ARTERO, F., & JACOBS, D. F. (2023). Mesh-shelters provide more effective long-term protection than tube-shelters or mulching for restoration of *Pinus halepensis* in a Mediterranean arid ecosystem. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1092703>
- OLIET, J. A., PUÉRTOLAS, J., VALENZUELA, P., & DE CASTRO, A. V. (2021). Light transmissivity of tree shelters interacts with site environment and species ecophysiology to determine outplanting performance in Mediterranean climates. *Land*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/land10070753>
- OLIET, J. A., VÁZQUEZ DE CASTRO, A., & PUÉRTOLAS, J. (2015). Establishing *Quercus ilex* under Mediterranean dry conditions: sowing recalcitrant acorns versus planting seedlings at different depths and tube shelter light transmissions. *New Forests*, 46(5–6), 869–883. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9495-3>
- PADILLA, F. M., MIRANDA, J. DE D., ORTEGA, R., HERVÁS, M., SÁNCHEZ, J., & PUGNAIRE, F. I. (2011). Does shelter enhance early seedling survival in dry environments? A test with eight Mediterranean species. *Applied Vegetation Science*, 14(1), 31–39. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01094.x>
- PEMÁN, J., PEGUERO-PINA, J. J., VALLADARES, F., & GIL-PELEGRÍN, E. (2010). Evaluation of unventilated treeshelters in the context of Mediterranean climate: Insights from a study on *Quercus faginea* seedlings assessed with a 3D architectural plant model. *Ecological Engineering*, 36(4), 517–526. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.021>
- PIÑEIRO, J., MAESTRE, F. T., BARTOLOMÉ, L., & VALDECANTOS, A. (2013). Ecotechnology as a tool for restoring degraded drylands: A meta-analysis of field experiments. *Ecological Engineering*, 61, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.066>
- RIPULLONE, F., CAMARERO, J. J., COLANGELO, M., & VOLTAS, J. (2020). Variation in the access to deep soil water pools explains tree-to-tree differences in drought-triggered dieback of mediterranean oaks. *Tree Physiology*, 40(5), 591–604. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa026>
- URREAGA, J. M., BELTRÁN, F. R., ACOSTA, J., AGUINACO, T., FONSECA, C., OCHOA, A., PALÁ, J. A. O., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, C., & DE LA ORDEN, M. U. (2020). *Tube shelters from agricultural plastic waste: an example of circular economy 3 4*. <https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620324483>
- 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 Forests*, 43(5–6), 755–770. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9328-6>

Referencias web:

- CLIMATE-DATA FASNIA. (n.d.). Clima: Fasnía. Consultado el 15 de enero de 2025, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/canarias/fasnía-440074/>
- CLIMATE-DATA PIORNAL. (n.d.). Clima: Piornal. Consultado el 10 de enero de 2025, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/extremadura/piornal-184156/>



CLIMATE-DATA SAN BARTOLOMÉ DE PINARES. (n.d.). Clima: San Bartolomé de Pinares. Consultado el 10 de enero de 2025, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/castilla-y-leon/san-bartolome-de-pinares-220996/>

CLIMATE-DATA SAN FERNANDO DE HENARES. (n.d.). Clima: San Fernando de Henares. Consultado el 10 de enero de 2025, de <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-de-madrid/san-fernando-de-henares-28833/>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN). (n.d.). El clima en España. Consultado el 10 de enero de 2025, de https://educativo.ign.es/atlas-didactico/clima-eso/el_clima_en_espaa.html