



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Efecto del calor sobre la germinación de las especies utilizadas en la revegetación del proyecto LIFE - Ribermine

Effect of heat on the germination of the species used in the revegetation of the LIFE - Ribermine project.

Autor

Saúl Lombardo Larripa

Director

Hugo Saiz Bustamante (1)

Jaume Tormo Blanes (2)

Escuela Politécnica Superior 2025

Declaración de autoría:

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

En Zaragoza, a 24 de enero de 2024.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long diagonal stroke extending to the right.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Vulnerabilidad de la cuenca mediterránea ante incendios forestales	2
1.2 España frente al cambio climático: Incendios	3
1.3 El calentamiento del suelo en un incendio	5
1.4 Restauración ecológica post fuego.....	8
1.5 Utilización de semillas en restauración ecológica	8
1.6 Objetivos de desarrollo sostenible	9
1.7 Objetivos	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Selección de especies	10
2.2 Tratamientos	11
2.3 Procedimiento Experimental.....	12
2.4 Germinación	13
2.5 Viabilidad de las semillas.....	14
2.6 Análisis estadístico	15
3. RESULTADOS	16
3.1 Análisis global.....	16
3.2 Análisis por especie	19
4. DISCUSIÓN.....	24
4.1 Impacto del fuego en la germinación de las especies.....	24
4.2 Limitaciones, problemas y futuras direcciones	26
5. CONCLUSIÓN	27
6. RECOMENDACIONES	28
7. AGRADECIMIENTOS.....	28



8. BIBLIOGRAFÍA	28
9. ANEXOS	34
9.1 ANEXO A: Gráficos para la tasa de germinación, tasa de muertes y velocidad de germinación de aquellas especies en las que el efecto del tratamiento no es significativo, pero se observa una tendencia en los resultados.....	34
9.2 ANEXO B: Tablas explicativas sobre el calentamiento del suelo en incendios forestales	42

RESUMEN

Los incendios forestales son fenómenos naturales que están sufriendo un cambio significativo en su régimen debido a actividades humanas y cambio climático. Dichos eventos afectan directamente a los ecosistemas mediterráneos, por lo que la restauración ecológica es vital para la recuperación de la biodiversidad y funcionalidad del suelo. En este estudio se analiza la respuesta de once especies mediterráneas utilizadas en el proyecto LIFE-Ribermine a tratamientos térmicos simulando condiciones de incendio forestal. El experimento consistió en someter las semillas a tres tratamientos de calor (80°C, 100°C y 120°C) durante cinco minutos, además de un control a temperatura ambiente. Posteriormente, se evaluó su efecto sobre las variables tasa, velocidad de germinación, y tasa de mortalidad. Los resultados demuestran que las especies responden de muchas formas distintas a las temperaturas. Algunas de ellas presentan un aumento de la germinación al incrementar la temperatura, como el caso de *Anthyllis vulneraria* donde se observó un aumento de la germinación a 80°C, al contrario, se observó que para *Teucrium polium* la germinación disminuyó al aumentar la temperatura. Otras especies como, *Festuca ovina* y *Dactylis glomerata*, fueron resistentes a las altas temperaturas, sugiriendo su utilidad en restauraciones en zonas propensas a incendios recurrentes. Por otro lado, el estudio sugirió que factores como el humo y la competencia intra-específica deberían incluirse en investigaciones futuras, ya que no se tuvieron en cuenta y son de vital importancia para el desarrollo de las especies.

Palabras clave: Restauración ecológica, incendios forestales, germinación, especies mediterráneas, proyecto LIFE-Ribermine.

ABSTRACT

Forest fires are natural phenomena that are undergoing a significant change in their regime due to human activities and climate change. Such events directly affect Mediterranean ecosystems, making ecological restoration vital for the recovery of biodiversity and soil functionality. This study analyses the response of eleven Mediterranean species used in the LIFE-Ribermine project to thermal treatments simulating forest fire conditions. The experiment consisted of subjecting the seeds to three heat treatments (80°C, 100°C and 120°C) for five minutes, in addition to a control at room temperature. Subsequently, their effect on the variables germination rate, germination speed and mortality rate were evaluated. The results show that species respond in many ways to temperature.

Some of them show an increase in germination with increasing temperature, as in the case of *Anthyllis vulneraria* where an increase in germination was observed at 80°C, while for *Teucrium polium* germination decreased with increasing temperature. Other species such as *Festuca ovina* and *Dactylis glomerata* were resistant to high temperatures, suggesting their usefulness in restoration in areas prone to recurrent fires. On the other hand, the study suggested that factors such as smoke and intra-specific competition should be included in future research, as they were not considered and are of vital importance for the development of the species.

Keywords: Ecological restoration, forest fires, germination, Mediterranean species, LIFE-Ribermine project.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son fenómenos naturales que forman parte de la dinámica natural de los ecosistemas (Pausas et al., 2008). Sin embargo, investigaciones evolutivas y paleoecológicas sugieren que estos eventos han experimentado un cambio de régimen en la actualidad, ocurriendo con mayor frecuencia e intensidad que en el pasado. Este cambio está significativamente influenciado por las actividades humanas y las condiciones climáticas (Kelley et al., 2019). Las intervenciones humanas, como la deforestación y los cambios en el uso del suelo, han alterado los patrones naturales de los incendios, mientras que al mismo tiempo el cambio climático incrementa estos efectos al modificar las condiciones ambientales que propician los incendios forestales (Wasserman & Mueller, 2023). Estos efectos son de gran impacto en el medio natural, afectando principalmente a los ecosistemas forestales, los cuales cubren cerca del 30% de las tierras emergidas (Singh, 2022) y nos brindan servicios ecosistémicos vitales para la supervivencia, tales como servicios de suministro, de regulación o culturales (Valdecantos et al., 2022).

1.1 Vulnerabilidad de la cuenca mediterránea ante incendios forestales

Los incendios forestales representan una amenaza creciente para la biodiversidad y la calidad del suelo, con impactos directos en la pérdida de hábitats que repercuten significativamente en nuestras vidas diarias (Schoennagel et al., 2017). La cuenca mediterránea es una de las regiones más vulnerables ante los efectos del cambio climático y el aumento de incendios forestales (Lloret, 2012). Entre las principales causas de esta vulnerabilidad destaca la intensificación de la sequía, un fenómeno marcado por el incremento de las temperaturas medias y la reducción de las precipitaciones anuales.

Estas condiciones están prolongando los veranos, haciéndolos más secos y favoreciendo tanto la frecuencia como la intensidad de los incendios (Trigo et al., 2022). En este contexto, los ecosistemas terrestres de la región se enfrentan a una presión significativa, donde el cambio climático acelerado actúa en sinergia con otros motores del cambio global, como la transformación del uso del suelo, la contaminación y la llegada de nuevos organismos, amplificando los efectos directos e indirectos en el medio ambiente.

1.2 España frente al cambio climático: Incendios

España, por su ubicación geográfica y características socioeconómicas, se posiciona como uno de los países europeos más vulnerables al cambio climático (Moreno et al., 2005). Esta vulnerabilidad se manifiesta de manera diferenciada en sus principales regiones ecológicas: mientras que los ecosistemas de la región Atlántica están condicionados principalmente por las temperaturas, los de la región Mediterránea dependen en gran medida de la disponibilidad de agua. Este desequilibrio climático alterará la fenología de las especies, sus interacciones ecológicas y favorecerá la expansión de plagas y especies invasoras, aumentando el impacto de las perturbaciones tanto naturales como humanas, así como reduciendo la capacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono (Moreno et al., 2005). Además, los cambios derivados del calentamiento global y la disminución de recursos hídricos afectan directamente a la biodiversidad vegetal, alterando indicadores clave como la diversidad alfa y beta, y reduciendo la riqueza vegetal (Kanamori et al., 2024). Estas alteraciones generan graves repercusiones, como el incremento de la demanda de agua en un sector agrícola esencial para el suministro alimentario (Chávez-Jiménez & González-Zeas, 2015). Entre los efectos más destacados figuran la "mediterraneización" de amplias zonas del territorio español y la desertificación progresiva del sur, fenómenos que no solo transforman los paisajes, sino que también agravan los desafíos socioeconómicos y ambientales en el país.

El aumento de las temperaturas medias registrado en España durante las últimas décadas refleja un patrón climático inequívoco que intensifica los impactos del cambio climático (World Bank Climate Change Knowledge Portal, 2024). A pesar de la diversidad climática de España, que abarca desde zonas mediterráneas semiáridas hasta regiones atlánticas de clima oceánico, el denominador común en la mayoría de las áreas son los veranos cálidos (Boccard, 2022). Este incremento térmico no solo agrava los efectos de la sequía, promoviendo una mayor evaporación de la humedad del suelo y reduciendo la disponibilidad de agua, sino que también crea condiciones ideales para la propagación de incendios forestales, convirtiendo al país en un territorio particularmente vulnerable a estos desastres naturales.

Los incendios forestales representan una de las mayores amenazas medioambientales para este país, con consecuencias devastadoras para los ecosistemas, la economía y la seguridad de las personas. La magnitud y la frecuencia de estos eventos, debido a algunos factores clave como por ejemplo el aumento de biomasa debido a el abandono de las practicas forestales y la despoblación de las áreas rurales, han impulsado la necesidad de comprender mejor su dinámica, factores desencadenantes y consecuencias (Figura 1). Estos fenómenos, derivados de la interacción entre las variables climáticas y los motores del cambio global, acentúan la urgencia de desarrollar estrategias que minimicen los riesgos asociados y protejan tanto los ecosistemas como las comunidades humanas.

En este contexto, nacen estrategias como la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF), emitida por cada una de las comunidades autónomas. Esta es una herramienta fundamental para la recopilación y análisis de datos sobre estos sucesos desde su creación en 1961 y una de las primeras en Europa (Estadística general de incendios forestales (EGIF), 2024), que será de vital importancia para la prevención y predicción.

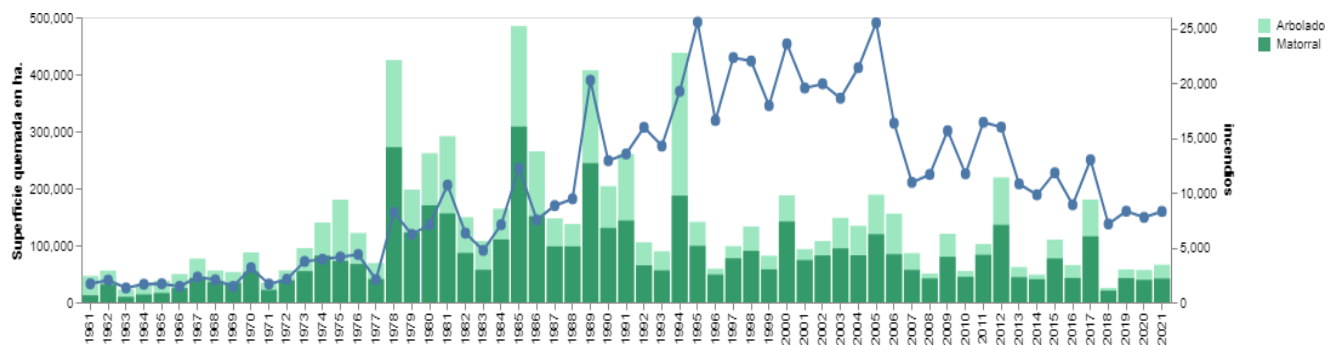


Figura 1. La línea azul indica el número de incendios y las barras verdes la superficie quemada en hectáreas en España desde 1961 a 2021 separadas como verde claro, arbolado y verde oscuro matorral (PostFire. Evolución del número de incendios y superficie quemada., 2024).

Una vez comprendidos y contextualizados los incendios, es necesario conocer los factores desencadenantes del fuego. Para que un fuego llegue a su desarrollo son necesarios tres ingredientes: Igniciones (naturales/humanas), biomasa combustible (densa y continua) y condiciones ambientales (sequía). Estos factores deben darse en conjunto, ya que en ausencia de uno de ellos difícilmente podrá desarrollarse el incendio (J. Pausas, 2024). Una vez iniciado el incendio la intensidad de este determinará el calentamiento del suelo y las futuras consecuencias sobre las propiedades edáficas y el desarrollo vegetal (Mataix-Solera & Guerrero, 2007) (Anexo B1).

1.3 El calentamiento del suelo en un incendio

El suelo actúa como un gran aislante térmico. Mientras que en la superficie las temperaturas pueden alcanzar entre 500-800°C, en el suelo se mantienen entre 100-300°C a tan solo 5 cm de profundidad (Mataix-Solera & Guerrero, 2007) (Anexo B2). Un concepto importante para comprender la temperatura alcanzada en el suelo es el grado de afectación por el fuego en una zona específica, lo cual depende de las temperaturas registradas en el suelo y de la severidad, entendida como el tiempo durante el cual estas temperaturas se mantienen (Úbeda, 2000). Otro factor crucial es la intensidad, que es un parámetro puramente físico que representa la energía desprendida por el fuego. Algunos de los parámetros que ayudan a medir esta intensidad son la altura de la llama o las cámaras infrarrojas (Blanco, 2012). Ambos parámetros son medidos durante el transcurso de un incendio.

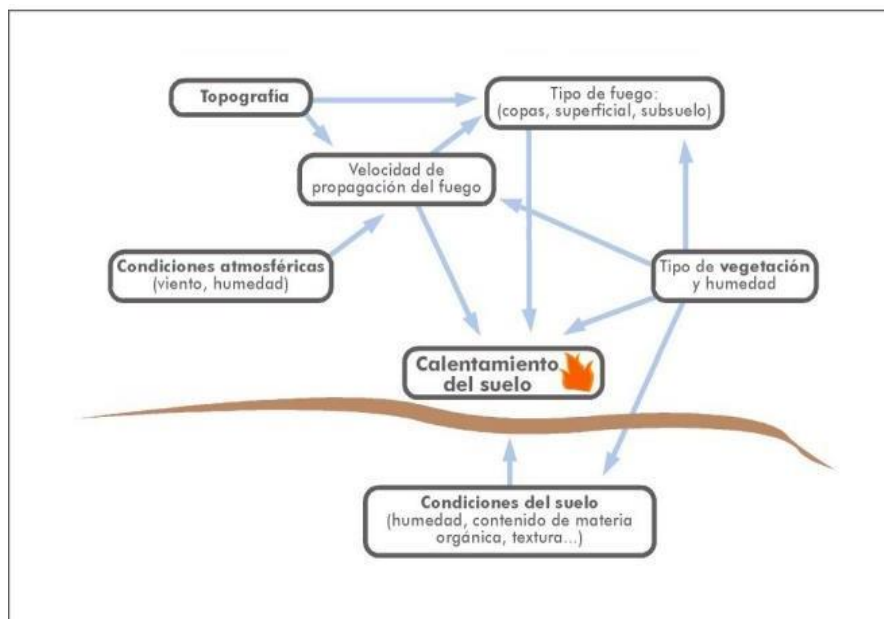


Figura 2. Factores implicados en el calentamiento del suelo durante un incendio forestal (Mataix-Solera & Guerrero, 2007)

El calentamiento del suelo es de vital importancia para la germinación de las semillas y va a estar determinada por la temperatura y el tiempo de exposición a esas temperaturas (Avila et al., 2010). Debido a la importancia de este indicador de cara a la germinación y supervivencia de bancos de semillas en escenarios de incendios es importante detallar los factores que causan este calentamiento (Figura 2), ya que estos son los que definirán como se va a producir ese calentamiento y por tanto la magnitud de los efectos. Todos los factores descritos hacen que la evaluación del estado del suelo en un incendio sea complicada y con una alta variabilidad espacial (Mataix-Solera & Guerrero, 2007).

El calentamiento del suelo depende de factores directos e indirectos. Mientras que el tipo de vegetación y humedad, la velocidad de propagación del fuego, el tipo de fuego, y las condiciones del suelo son factores directos del calentamiento del suelo, otros factores como la topografía y las condiciones atmosféricas son indirectos y actúan a través de sus efectos sobre los factores directos (Figura 2).

El primer factor incluye el tipo de vegetación y su humedad. Tanto el combustible vivo como el muerto, junto con la estructura de la vegetación, juegan un papel determinante en la intensidad y probabilidad de los incendios. En general, una mayor acumulación de combustible muerto y la presencia de plantas con bajo contenido de humedad incrementan significativamente las probabilidades de combustión y la intensidad del fuego (Hammill & Bradstock, 2006). El tipo de vegetación, en particular, es un condicionante crucial. En áreas boscosas, los incendios tienden a ser más graves debido a la alta densidad de material combustible, mientras que, en zonas de matorrales y pastos, los incendios suelen ser menos severos. Además, estas áreas tienen una mayor capacidad de regeneración tras un evento de baja intensidad (Rodríguez-Cubillo et al., 2022). Factores como la hojarasca superficial o la estructura de las copas de los árboles proporcionan pistas sobre la cantidad de combustible disponible. En último lugar la estructura de la vegetación, entendida como la distribución vertical y horizontal de plantas vivas y muertas, define no solo la dinámica del ecosistema, sino también cómo este interactúa con el fuego. Por ejemplo, en bosques tropicales con copas densas, la vegetación cercana al suelo retiene más humedad, lo que reduce la probabilidad de combustión. En contraste, en ecosistemas con copas más abiertas, una mayor exposición a la radiación solar y al viento incrementa la pérdida de humedad por evaporación, aumentando así el riesgo de incendios (Cochrane, 2009).

El segundo factor es la velocidad de propagación. La velocidad de propagación del fuego es un factor clave en la dinámica de los incendios forestales, definido como la distancia que el fuego recorre en un tiempo determinado (Blanco, 2012). Este proceso, lejos de ser uniforme, está profundamente influenciado por la topografía, las condiciones atmosféricas y el tipo de vegetación. En terrenos con una orografía complicada, las pendientes juegan un papel determinante: cuanto mayor es la inclinación, mayor es el calor transferido por convección hacia el combustible situado en la parte superior, lo que acelera la propagación. Además, la altitud introduce otro factor diferencial, ya que, en zonas más elevadas, las temperaturas más bajas y la mayor humedad suelen ralentizar el avance del fuego (Briones, 2020). Por otro lado, las condiciones atmosféricas, especialmente el viento. Este no solo disminuye la humedad del material vegetal, sino que también lo oxigena, avivando las llamas y facilitando la propagación (Briones, 2020). El viento tiene el poder de transformar un fuego contenido en un fenómeno incontrolable, ya que puede proyectar brasas a grandes distancias,

enciendiendo nuevos focos más allá del frente principal. Estos factores, en conjunto, incrementan la tasa de combustión, amplificando la magnitud del incendio y elevando las temperaturas en el suelo.

El tercero de los factores es el tipo de fuego. Encontramos tres tipos de fuegos: copas, superficial, subsuelo. Los incendios de copas son incendios que avanzan de copa en copa, empujados por el viento que es más fuerte en las copas de los árboles que a nivel del suelo. Los incendios superficiales, que son los más comunes, se caracterizan por extenderse quemando el tapiz herbáceo y el matorral, sin llegar a afectar a los árboles adultos. Debido a su proximidad con el suelo, son también los que tienden a generar un mayor calentamiento en este. Y en último lugar los de subsuelo, que pueden propagarse por el subsuelo a través de la materia orgánica existente, como raíces o turba. Son fuegos de avance lento y muy peligrosos si se propagan sin ser detectados (VAERSA, 2012). El tipo de fuego estará condicionado por diversos factores como la topografía. Por ejemplo, según el microclima en el que se desarrolla el incendio ya que el tipo de combustible es diferente, debido a la temperatura y humedad relativa en ladera de solana con respecto a ladera de umbría. También es de vital importancia el tipo de vegetación. En el caso de los incendios de superficie se queman la vegetación a una altura próxima al suelo, como son pastos, matorrales, restos de cortas, etc. y normalmente no afectan a árboles que pueden estar intercalados. Sin embargo, los incendios de copas se desarrollan en altura quemando las copas de los árboles. La velocidad de propagación es otro factor importante para distinguir el tipo de fuego, siendo los incendios de copas los que más rápido se propagan ya que suelen estar muy relacionados con la velocidad del viento, mientras que si esta desciende suelen pasar a incendios superficiales. Al contrario, los incendios de subsuelo son de lenta velocidad de propagación, debido a los bajos niveles de oxígeno (Briones, 2020).

Por último, encontramos las condiciones del suelo. La humedad del suelo también actúa como condicionante de la temperatura en el suelo a medida que aumenta el contenido de humedad, se observa una disminución en la temperatura máxima alcanzada en el suelo. Esto se debe a que la humedad eleva la capacidad calorífica del suelo, lo que significa que se necesita más energía para calentar el suelo húmedo en comparación con el suelo seco. Además, en suelos húmedos cuando se alcanza aproximadamente 100°C, el proceso de evaporación del agua puede retardar el aumento de la temperatura, lo que contribuye a que las temperaturas no superen rápidamente los niveles críticos que afectan a las semillas y microorganismos. En resumen, a mayor humedad en el suelo, menor es la temperatura máxima y menor la duración del calentamiento (Stoof et al., 2011). Del mismo modo la materia orgánica tiene una relación con el calentamiento del suelo, ya que incluye restos de plantas, hojarasca y otros residuos biológicos teniendo impacto en la forma con la que el incendio interactúa con el suelo. En primer lugar, la materia orgánica puede actuar como combustible, quemándose y

liberando energía en forma de calor, entonces un suelo con alta cantidad de materia orgánica puede sufrir mayores temperaturas durante un incendio que uno con menos cantidad (González-Pérez et al., 2011). También hay que decir que la materia orgánica aumenta con la cantidad de humedad del suelo que como hemos explicado antes juega un papel importante en el calentamiento del suelo.

1.4 Restauración ecológica post fuego

Los ecosistemas forestales degradados y simplificados son de los más vulnerables al fuego (Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C), 2023). Esto es especialmente relevante en España, donde el 91 % de los hábitats de interés comunitario con potencial de arder (e.g. bosques, matorrales, arbustivos) se encuentran en un estado de conservación “desfavorable” o “muy desfavorable” (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Seguimiento y evaluación de los tipos de hábitat y las especies en España., 2024). La gestión forestal juega y va a jugar un papel importante en la dinámica de los incendios, incluyendo la restauración y regeneración de áreas afectadas. Estudios demuestran que el ensamblaje de comunidades de plantas mediterráneas está muy condicionado por las germinaciones post fuego (Moreira et al., 2010), lo que subraya la importancia de prestar atención a la sucesión ecológica después del fuego. La restauración ecológica juega un papel crucial en este proceso, ya que busca acelerar la recuperación de los ecosistemas afectados, promoviendo la regeneración de la vegetación y la restauración de la biodiversidad. Es esencial entender cómo las comunidades de plantas mediterráneas se ensamblan después del fuego, ya que esto puede proporcionar información clave para diseñar estrategias de restauración efectivas en escenarios dañados.

1.5 Utilización de semillas en restauración ecológica

Una de las técnicas más utilizadas en la restauración ecológica es la siembra, un proceso que requiere un profundo conocimiento sobre la demografía, ecología y genética de las especies, así como un análisis detallado de las características de la región a restaurar. Este enfoque no solo estimula la sucesión ecológica, sino que también promueve el desarrollo de los ecosistemas afectados (Ekasari et al., 2021). La regeneración de los ecosistemas post incendio siempre ha existido de manera natural, ya sea por regeneración natural, brotes vegetativos, colonización de especies pioneras o competencia. Desde el punto de vista de la restauración hoy en día contamos con medidas que se pueden aplicar directamente para acelerar estos procesos, de manera que se pueda llegar a escenarios incluso mejores de los que había antes del incendio (Mantero et al., 2024). Con la restauración ecológica simplemente impulsamos y aceleramos el tiempo de estos procesos. Gracias a ello nacen iniciativas

como el proyecto LIFE-Ribermine (LIFE18 ENV/ES/000181). Este proyecto se focaliza en minas de diferentes características en dos países de la Unión Europea, España y Portugal. La actividad minera es una de las actividades con mayor impacto ambiental y es vital para la economía de estos dos países. Así, Ribermine va más allá de un simple enfoque corrector, centrándose en la reestructuración de paisajes degradados para que puedan volver a proporcionar servicios ecosistémicos a la sociedad.

Las especies empleadas en el proyecto LIFE-Ribermine no fueron evaluadas específicamente en cuanto a su adaptación frente a incendios. Sin embargo, en el contexto actual de cambio climático, este aspecto adquiere una importancia significativa, ya que se prevé un incremento en la frecuencia de incendios en la zona donde se desarrolló el proyecto.

1.6 Objetivos de desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron establecidos por las Naciones Unidas en 2015 como un llamado global para erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar una vida digna y próspera para todas las personas en el horizonte de 2030 (Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2024). Este trabajo se centra en diseñar estrategias de sostenibilidad que permitan prevenir, reducir o mitigar el impacto de los incendios forestales sobre los ecosistemas, alineándose con metas clave de los ODS, como ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11), acción por el clima (ODS 13) y vida de ecosistemas terrestres (ODS 15).

1.7 Objetivos

Trabajos como este son fundamentales para evitar un futuro dominado por regímenes de incendios descontrolados que podrían transformar la cuenca mediterránea en un escenario crítico de degradación ambiental. Este análisis no solo ofrece un marco para enfrentar estos desafíos, sino que también convierte la adversidad en una oportunidad para construir un futuro más resiliente, donde la sostenibilidad y la preservación de los recursos naturales sean pilares para las próximas generaciones.

Los objetivos en los que este trabajo pretende enfocarse son los siguientes:

Objetivo general:

Estudiar la respuesta de semillas utilizadas en restauración de ecosistemas mediterráneos a tratamientos de calor.

Objetivos específicos:

- Evaluar la respuesta al calor del proceso de germinación de semillas utilizadas en la restauración del proyecto LIFE-Ribermine, como aproximación a las respuestas de estas semillas a los incendios.
- Identificar aquellas especies cuyas semillas son resistentes a los tratamientos de calor o se ven beneficiadas por ellos.

2. METODOLOGÍA

2.1 Selección de especies

Para la elaboración de este experimento se eligieron once especies de plantas. La elección de estas especies se basó en la selección de especies llevada a cabo para el proyecto LIFE-Ribermine, un trabajo de restauración de 4 espacios mineros en la región del Alto Tajo, en Peñalén (Guadalajara), en la cual se intervino en cerca de 30 ha (LIFE18 ENV/ES/000181). Todas las especies son características de zonas mediterráneas continentales, y pertenecen a tres familias (Gramineae, Leguminosae y Lamiaceae). Estas semillas fueron proporcionadas y distribuidas por Cantueso Natural Seeds. Para comprender mejor cada especie, se explicará su ecología y su corología (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las especies utilizados en este trabajo indicando familia, hábitat y la corología, entendida esta como el área de distribución de las especies (Herbario JACA |, s. f.).

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITAT	COROLOGÍA
<i>Teucrium polium</i> L.	Lamiaceae	En matorrales, tomillares y pastizales de encinares o pinares sobre sustrato calizo.	Estenomediterránea
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	Leguminosae	Cunetas, taludes de caminos y carreteras	Plurirregional
<i>Brachypodium phoenicoides</i> Roem. & Schult.	Gramineae	Proximidades cursos de aguas o donde hay aguas freáticas.	Mediterránea
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Gramineae	Prados húmedos y ambientes frescos de suelos profundos y fértiles.	Subscosmopolita
<i>Anthyllis vulneraria</i> L.	Leguminosae	Matorrales y claros de bosque, pastos, crestas, rellanos y fisuras de roquedos principalmente en ambientes de montaña.	Plurirregional

<i>Festuca ovina</i> L.	Gramineae	Suelos rocosos y silíceos, prados secos, muy resistente al frío y a la sequía.	Mediterránea
<i>Festuca rubra</i> L.	Gramineae	Ambientes alterados por el hombre	Plurirregional
<i>Lavandula stoechas</i> L.	Lamiaceae	Matorrales y pastizales instalados en encinares o rebollares. En suelos secos y soleados.	Estenomediterránea
<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.	Asteraceae	En general sobre materiales calizos	Endemismo y mediterránea
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Lamiaceae	Principalmente forma parte de matorrales secos, tomillares y pastizales vivaces sobre suelos secos y soleados.	Latemediterránea
<i>Thymus zygis</i> L.	Lamiaceae	Forma tomillares o participa en matorrales, encinares aclarados, sabinares, melojares o pinares.	Endemismo de la Península Ibérica

2.2 Tratamientos

Las semillas de las especies seleccionadas fueron sometidas a tres tratamientos de temperatura: 80°C, 100°C y 120°C (Mataix-Solera & Guerrero, 2007), durante un periodo de 5 minutos. Estas temperaturas se seleccionaron para simular condiciones que podrían darse en suelos en entornos naturales durante el proceso de un incendio (Moreira et al., 2010). También se realizó un grupo control sin someter al tratamiento de temperatura a las semillas para comparar condiciones normales con condiciones de incendio.

Un ejemplo práctico que ilustra este enfoque es Tabla B1 (Anexo B), que detalla las temperaturas alcanzadas por distintos tipos de vegetación en función de la distancia de la semilla a la superficie del suelo. Esta herramienta es una referencia clave para comprender los rangos térmicos a los que se ven expuestas las semillas durante un incendio, proporcionando información esencial para determinar las temperaturas adecuadas en estudios y procesos de restauración. Gracias a esta tabla, se definieron las temperaturas utilizadas en el experimento.

2.3 Procedimiento Experimental

Preparación de Muestras: Para cada una de las especies, se planificó la realización de 4 réplicas (cada replica incluye un lote de 25 semillas) por cada uno de los 4 tratamientos designados: control, 80°C, 100°C y 120°C. Esto implica la preparación de 16 lotes de semillas por especie, sumando un total de 176 lotes para las once especies incluidas en el estudio. Debido a errores en el recuento, no todos los lotes contienen 25 semillas, sin embargo, ha sido especificado en el procedimiento experimental la variación del número de estas. Cada uno de estos lotes corresponde a una placa Petri usada posteriormente para la germinación.

Exposición a las Temperaturas: Las semillas de cada especie se distribuyeron en sobres para cada uno de los tratamientos y de temperaturas descritos. Estas fueron sacadas de los sobres y puestas en pequeños moldes de aluminio aptos para horno. Se utilizó una estufa debidamente calibrada para garantizar la precisión de las temperaturas establecidas. Cada tratamiento de temperatura se aplicó durante un período de 5 minutos. Las semillas del tratamiento control no fueron expuestas a ningún tratamiento de temperatura.

Los tratamientos se aplicaron por réplica, es decir, las réplicas 1 de cada tratamiento y especie se trataron todas juntas, después la réplica 2 y así sucesivamente.

Germinación: Después de someter las semillas a los tratamientos, se colocaron en placas Petri. Para preparar las placas Petri, se colocó un filtro en el fondo de cada una y se añadió, con una pipeta automática, la cantidad necesaria de agua destilada para garantizar un nivel adecuado de humedad para la germinación. En caso de que durante el proceso de germinación se perdiera humedad en el filtro, se añadió más agua para mantener las condiciones óptimas de humedad.

Las semillas se dispusieron en las placas Petri de manera ordenada, con una pequeña separación entre ellas. Mantener una separación adecuada entre las semillas permite una imbibición sin interferencias y facilita el seguimiento y la evaluación del proceso de germinación.



Figura 3. Semillas de *Teucrium polium* del tratamiento control depositadas sobre el filtro mojado dispuestas de manera ordenada para su posterior germinación.

Después de la preparación de las placas Petri con las semillas, estas fueron trasladadas a una cámara de germinación con condiciones controladas de temperatura (20°C), humedad (85% de humedad relativa) y oscuridad. En este ambiente controlado, se mantuvo una temperatura constante de 20°C y oscuridad. El experimento de germinación comenzó el 13 de noviembre, variando los días de comienzo para otros tratamientos como se especifica más adelante (ver 2.4 germinación), el seguimiento y monitoreo de estas especies se siguió día tras día a excepción de los fines de semana y durante las fiestas de Navidad.

Se consideró como germinadas aquellas semillas cuya radícula era visible a simple vista y como no germinadas aquellas que en ningún momento se llegó a visibilizar la radícula. Por otra parte, algunas semillas murieron durante el experimento. Todas estas semillas muertas se anotaron en las tablas de datos para calcular la proporción de semillas muertas (ver 2.4 germinación) y se tuvieron en cuenta a la hora de los resultados finales.

2.4 Germinación

Se midieron las siguientes variables de germinación para cada réplica:

- Tasa de germinación: Proporción de semillas que germinan en un periodo de tiempo determinado, con respecto al total de las semillas. El seguimiento de la germinación se siguió durante 38 días. No todos los tratamientos se pusieron a germinar el mismo día. Las rondas de todas las especies de control y 80°C empezaron el 13 de noviembre, menos la ronda control de *Te. polium* que comenzó el 22 de noviembre. Las rondas de 100°C comenzaron el 14 de noviembre y por ultimo las de 120°C comenzaron el 15 de noviembre.

$$Tasa\ de\ germinación(\%) = \frac{Número\ de\ semillas\ germinadas}{Número\ de\ semillas\ sembradas} \times 100$$

La tasa de germinación solo refleja las semillas que germinaron, no la viabilidad total de las semillas.

Para ello se realizó la prueba TTC (ver 2.5. prueba de viabilidad)

- Tasa de muertes: Proporción de semillas que mueren en un periodo de tiempo determinado, con respecto al total de las semillas.

$$Tasa\ de\ muertes(\%) = \frac{Número\ de\ semillas\ muertas}{Número\ de\ semillas\ sembradas} \times 100$$

- Velocidad de germinación: Este método se basa en el conteo diario de las semillas germinadas y se calcula como la suma de los cocientes entre el número de semillas germinadas cada día y el número de días transcurridos desde la siembra, cuando se ha producido el 50% de la germinación.

$$Velocidad\ de\ germinación = \frac{\sum(N_i \times D_i)}{\sum N_i}$$

N_i =Numero de semillas germinadas el día D_i

D_i =Tiempo transcurrido desde la siembra en días

2.5 Viabilidad de las semillas

Se comprobó la viabilidad de las semillas, mediante la prueba TTC (tetrazolium chloride test). La prueba TTC es un método colorimétrico que permite determinar la integridad de la membrana celular y la actividad de las enzimas respiratorias en las semillas, lo que indica qué semillas son viables y cuáles no (França-Neto & Krzyzanowski, 2019).

Primero se preparó una disolución del 1% de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio. Este porcentaje se obtuvo disolviendo 1 gramo de este compuesto por cada 100 ml de agua destilada. La disolución se guardó refrigerada en frascos opacos para prevenir la deterioración causada por la luz (Patil & Dadlani, 2009).

El procedimiento del test fue el siguiente:

- Se colocaron 50 semillas por especie en un recipiente con suficiente disolución de TTC para cubrir las completamente.

- Se incubó las semillas en la disolución de TTC a 20°C en una cámara con temperatura controlada, durante 24 horas para que se impregne debidamente la coloración en todas las semillas. Algunas de ellas necesitaron hasta 48 horas para terminar la coloración.
- Se retiraron las semillas de la solución y se enjuagaron con agua destilada para eliminar el exceso de TTC.
- Se separó las semillas viables (teñidas de rosa) de las no viables (incoloras o muy poco coloreadas) y se hizo un recuento, para posteriormente sacar la viabilidad en tanto por 1 y aplicarlo al experimento.

$$Viabilidad = \frac{Semillas\ tintadas}{Total\ de\ semillas}$$

- Al aplicarlo al experimento se multiplicó el total de germinadas sin tener en cuenta el valor de viabilidad por cada uno de los valores de viabilidad previos al experimento, para cada una de las especies. El resultado será el valor corregido y se usará en el cálculo de los índices (ver 2.4 germinación) y el análisis estadístico, de manera que se tendrá un resultado más preciso conociendo la viabilidad de las semillas.

2.6 Análisis estadístico

Se utilizó RStudio como software para el análisis estadístico de las muestras. RStudio es una herramienta potente y versátil que facilita la gestión de datos, la ejecución de análisis y la creación de informes (Posit, 2025).

En primer lugar, se importó los datos de la muestra de un archivo .xls a un archivo .txt. Se verificó la estructura, el formato (e.g. uso de “.” como separador decimal) y la presencia de posibles errores como las tildes en las palabras, dado que RStudio no los identifica. Una vez verificados se importaron al programa para realizar el análisis.

Antes de realizar los análisis se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para ver si los datos se ajustaban una distribución normal. Esta prueba compara los datos recopilados con una distribución normal teórica, y determina si existe una diferencia significativa entre las dos. Si los datos no se diferencian significativamente a la distribución normal, se concluye que los datos son normales. Por otro lado, si existe una diferencia significativa, se concluye que los datos no son normales (Blanca, 2023).

Primero se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) (Lix et al., 1996) para evaluar el efecto de los tratamientos de temperatura y las especies, junto con su interacción sobre las variables de

germinación. Esta prueba permite descubrir si los tratamientos tienen efectos significativos sobre la germinación de las semillas en función de la especie que se esté considerando. A continuación, y tras observar en el análisis global que cada especie respondía de diferente manera a cada uno de los tratamientos (interacción significativa entre tratamientos y especies), se procedió a hacer un análisis individual para cada una de las especies.

Se utilizó la prueba ANOVA en caso de que los datos fueran normales y si el resultado era significativo se realizó un análisis posthoc mediante Tukey (HSD - Honest Significant Difference). Si el resultado no es estadísticamente significativo, esto indica que las medias de todos los grupos no son diferentes entre sí, por lo que no es necesario realizar una prueba posthoc para averiguar qué grupos son diferentes entre sí.

En el caso de que los datos no fueran normales, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, Si el resultado era significativo, nos dice que no todas las medias del grupo son iguales, por lo que se realizó un posthoc, para saber exactamente qué grupos son diferentes entre sí (Sokal & Rohlf, 1973). Se utilizó la prueba posthoc de Wilcoxon para comprobar si los valores medios de cada par de grupos difieren significativamente entre sí.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis global

Los resultados del análisis global fueron similares para las tres variables estudiadas (Tabla 2). Hay un efecto significativo de la variable especie, lo que indica que las especies difieren en su estrategia de germinación. El tratamiento también fue significativo, lo que indica que la germinación cambia según los tratamientos (Figuras 4, 5 y 6). Por último, los análisis indicaron que hay una interacción entre especie y tratamiento, lo que indica que el efecto los tratamientos no es igual para todas las especies (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis estadístico global por cada una de las variables independientes. Los asteriscos muestran la significatividad estadística de los análisis ANOVA para cada tratamiento y para cada variable. Efecto de especie: La columna efecto de especie muestra si hay diferencias significativas entre especies con relación al valor de la variable independiente. Efecto tratamiento: Esta columna indica si hay diferencias significativas entre los distintos tratamientos para las variables independientes. Interacción: Indica si hay un efecto significativo entre la interacción entre especie y tratamiento.

	TEST ESTADISTICO		
	EFEECTO DE ESPECIE	EFEECTO DE TRATAMIENTO	INTERACCIÓN
Tasa de germinación	***	***	***
Tasa de muertes	***	***	***
Velocidad de germinación	***	***	***

***<0,001-----**<0,01-----*<0,05-----"." <0,1 -----ns>0,1

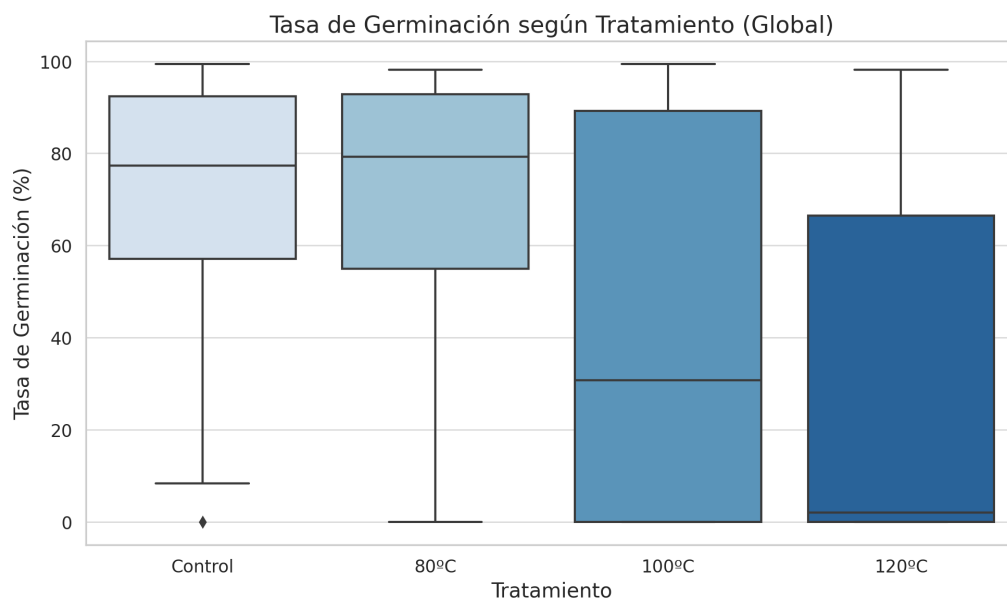


Figura 4. Tasa de germinación para los datos de las especies tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea negra del medio del cuadrado indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadrado indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tipo de tratamiento tuvo un efecto muy significativo sobre la tasa de germinación (Tabla 2)

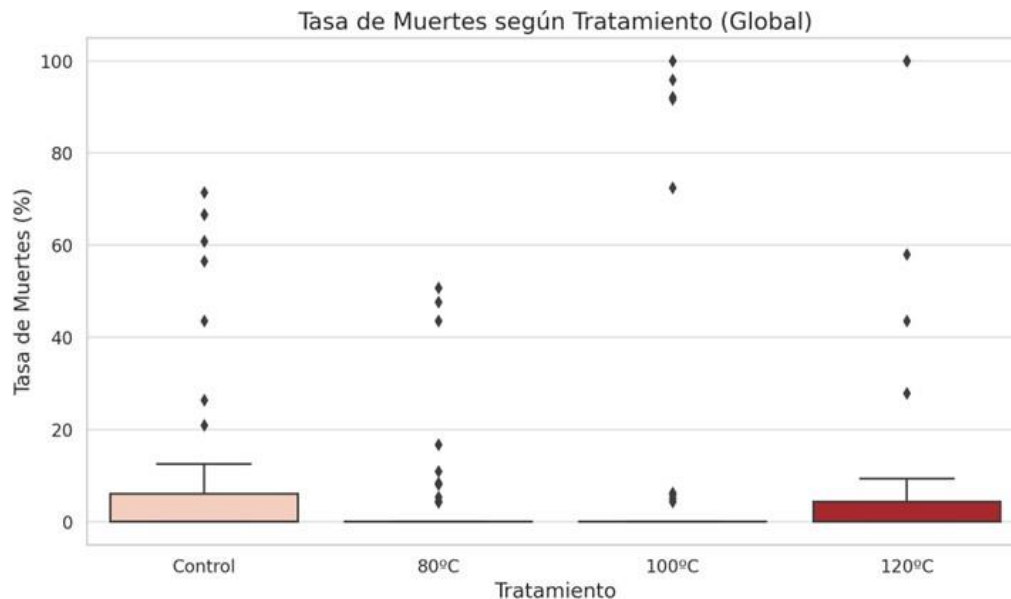


Figura 5. Tasa de muertes para los datos de las especies tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea negra del medio del cuadrado indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadrado gris indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tipo de tratamiento tuvo un efecto muy significativo sobre la tasa de muertes (Tabla 2).

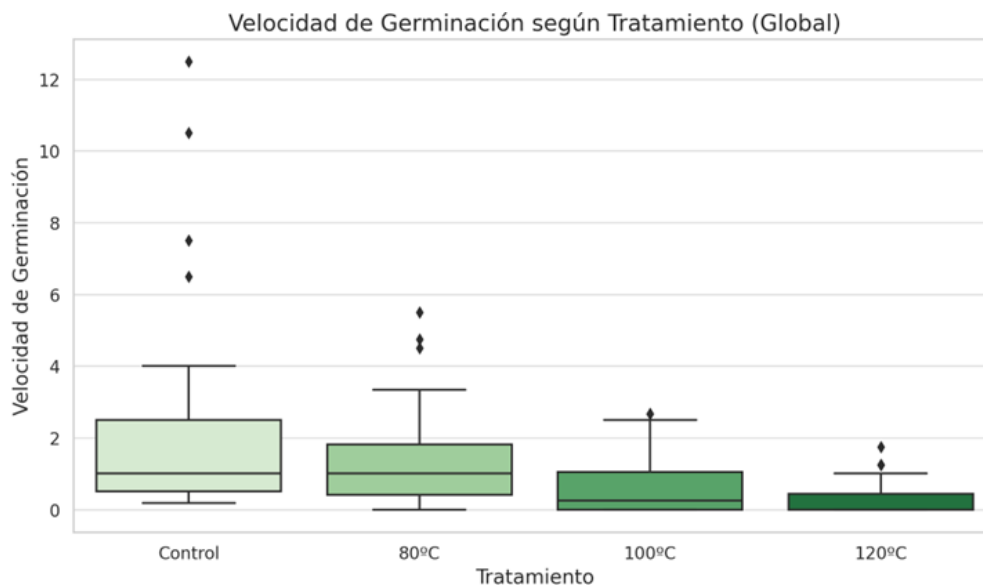


Figura 6. Velocidad de germinación para los datos de las especies tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea negra del medio del cuadrado indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadrado gris indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tipo de tratamiento tuvo un efecto muy significativo sobre la velocidad de germinación (Tabla 2).

3.2 Análisis por especie

Se observó que cada especie responde de manera diferente a los distintos tratamientos aplicados (Tabla 2). Por consiguiente, se segmentó el análisis estadístico para cada especie y variable, con el fin de identificar las respuestas individuales a los tratamientos.

Posteriormente se presentan todas las especies junto con la indicación de si los resultados son significativos o no para los tratamientos de temperatura (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis estadístico por especies, para cada una de las variables independientes y para cada una de las especies. Los asteriscos muestran la significatividad estadística de los análisis para cada tratamiento y para cada variable. Columna especie, indica las especies usadas en el experimento. Columna tasa de germinación para medir la germinación de las especies. Columna tasa de muertes para medir la tasa de muertes de las especies y velocidad de germinación. El posthoc no ha sido capaz de detectar diferencias entre grupos excepto para la tasa de germinación de Anthyllis vulneraria y la velocidad de germinación de Festuca Ovina y Thymus zygis

Especie	Tasa de germinación			Tasa de muertes			Velocidad de germinación		
	Norm.	Test	Posthoc	Norm.	Test	Posthoc	Norm.	Test	Posthoc
<i>Te. polium</i>	No	**	N.d.	no	ns	-	no	**	N.d.
<i>O. viciifolia</i>	No	**	N.d.	no	ns	-	no	**	N.d.
<i>B. phoenicoides</i>	No	**	N.d.	-	-	-	no	**	N.d.
<i>D. glomerata</i>	No	ns	-	no	ns	-	si	ns	-
<i>A. vulneraria</i>	Si	***	80°>100°C 80>120°C Control<80°C	no	**	N.d.	no	**	N.d.
<i>Fe. ovina</i>	Si	ns	-	no	ns	-	si	*	120>100 Control>120
<i>Fe. rubra</i>	Si	ns	-	no	ns	-	si	ns	-
<i>L. stoechas</i>	No	**	N.d.	no	**	N.d.	no	**	N.d.
<i>S. chamaecyparissus</i>	No	*	N.d.	no	ns	-	si	*	N.d.
<i>Th. vulgaris</i>	No	**	N.d.	no	ns	-	no	**	N.d.
<i>Th. zygis</i>	No	**	N.d.	no	ns	-	si	**	control>100 80>120 control>120

***<0,001-----**<0,01-----*<0,05-----"." <0,1----- ns>0,1

Para la tasa de germinación de *D. glomerata*, *F. ovina* y *F. rubra*, no se observa un efecto significativo del tratamiento. Sin embargo, para las otras especies, se observa un cambio en la germinación al aplicar tratamientos de calor. Aunque el análisis posthoc no ha logrado identificar diferencias entre pares de tratamientos, los gráficos sugieren que a medida que aumenta la temperatura, la tasa de germinación disminuye para las especies *Te. polium*, *O. viciifolia* y *B. phoenicoides* (Figura A1, A2 y A3; Anexo A). Por otro lado, en *L. stoechas*, *S. chamaecyparissus*, *Th. vulgaris* y *Th. zygis*, encontramos un patrón: a 120°C la germinación es nula, mientras que a 100°C se observa casi la mitad o más de la mitad de germinación en comparación con los tratamientos menos intensos (Figura A4, A5, A6 y A7; Anexo A). Además, el análisis posthoc sí ha encontrado diferencias significativas entre grupos de *A. vulneraria* (ver Tabla 3 y Figura 7), donde la tasa de germinación es significativamente más alta a 80°C en comparación con los otros tratamientos.

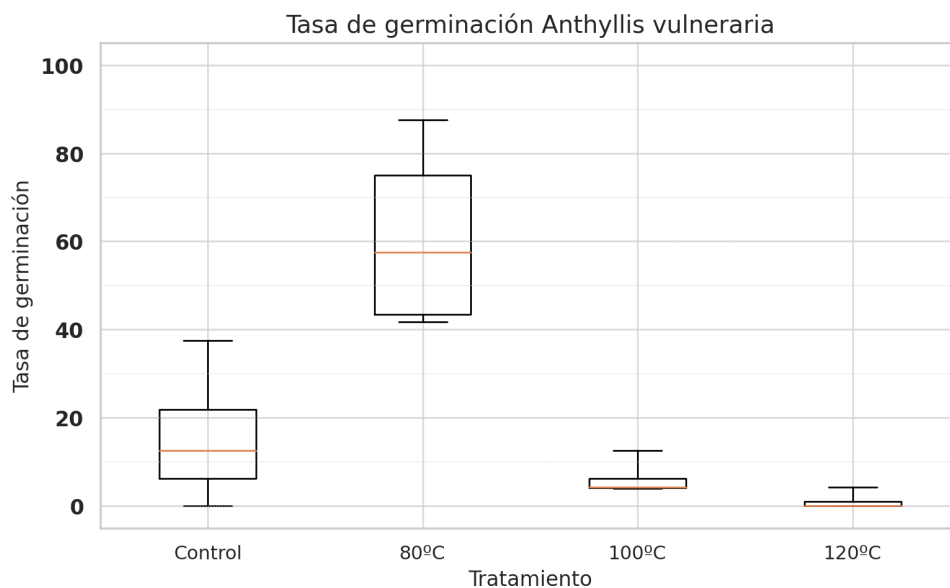


Figura 7. Tasa de germinación para los datos de *Anthyllis vulneraria* tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea naranja indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadro indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tratamiento tubo efecto significativo sobre la tasa de germinación, específicamente el tratamiento de 80°C produjo una mayor tasa de germinación que el resto de los tratamientos (Tabla 3).

En cuanto a la tasa de muertes, se observa que no ha habido un efecto de los tratamientos en la gran mayoría de las especies, excepto en *A. vulneraria* y *L. stoechas*. Sin embargo, el análisis posthoc no ha sido capaz de encontrar diferencias entre tratamientos. La diferencia entre estas dos especies se debe a que en el caso de *A. vulneraria*, la tasa de muertes es mayor al aplicar tratamientos de calor (Figura 8), mientras que *L. stoechas*, la tasa de muertes es más notoria en el tratamiento control (Figura 9). Otra especie en la que también se observa una tasa de muertes es *S. chamaecyparissus* (Figura A8;

Anexo A), pero el análisis no ha detectado diferencias. En el caso de *B. phoenicoides*, al no haber ninguna muerte en el experimento no fue posible detectar diferencias.

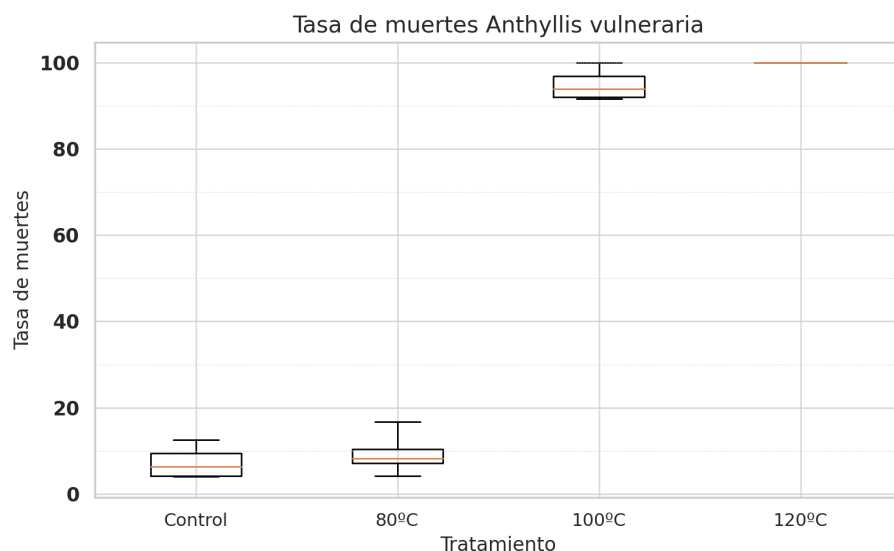


Figura 8. Tasa de muertes para los datos de *Anthyllis vulneraria* tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea naranja indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadro indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tratamiento tubo efecto significativo sobre la tasa de muertes, específicamente los tratamientos 100°C y 120°C generaron una mayor tasa de muertes con respecto a otros tratamientos (Tabla 3).

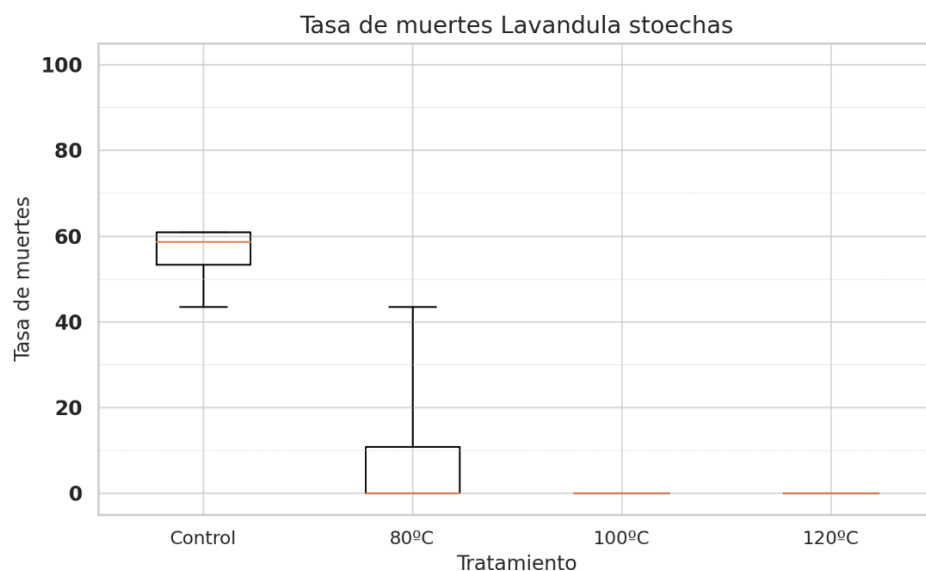


Figura 9. Tasa de muertes para los datos de *Lavandula stoechas* tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea naranja indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadro indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tratamiento tubo efecto significativo sobre la tasa de muertes, específicamente las rondas sin tratamientos generaron una mayor tasa de muertes con respecto a otros tratamientos (Tabla 3).

En cuanto a la velocidad de germinación se observa que para *F. rubra* y *D. glomerata* no hay un efecto significativo en la velocidad de germinación (Tabla 3). Sin embargo, para el resto de las especies, sí se detecta un efecto del tratamiento. Únicamente en *F. ovina* y *Th. zygis*, el análisis posthoc ha sido capaz de encontrar diferencias entre grupos. Para *F. ovina*, se observa una clara diferencia en la velocidad de germinación. Encontramos que 120°C tiene una mayor velocidad de germinación que 100°C y a su misma vez control germina más rápido que 120°C (Tabla 3 y Figura 10). De manera similar, para *Th. Zygis*, el tratamiento control tiene una mayor velocidad de germinación en comparación con 100°C y 120°C, mientras que 80°C tiene una velocidad mayor en comparación con 120°C (Tabla 3 y Figura 11). Para aquellas especies donde se encontraron diferencias significativas pero el análisis posthoc no distingue entre tratamientos, se observa un patrón consistente en *O. viciifolia*, *A. vulneraria*, *L. stoechas*, *S. chamaecyparissus*, *Th. vulgaris*, *B. phoenicoides* y *Te. polium*. En todas ellas, la velocidad de germinación decrece con el aumento de la temperatura de los tratamientos, siendo la velocidad más alta en el grupo control (Figura A9, A10, A11, A12, A13, A14 y A15; Anexo A).

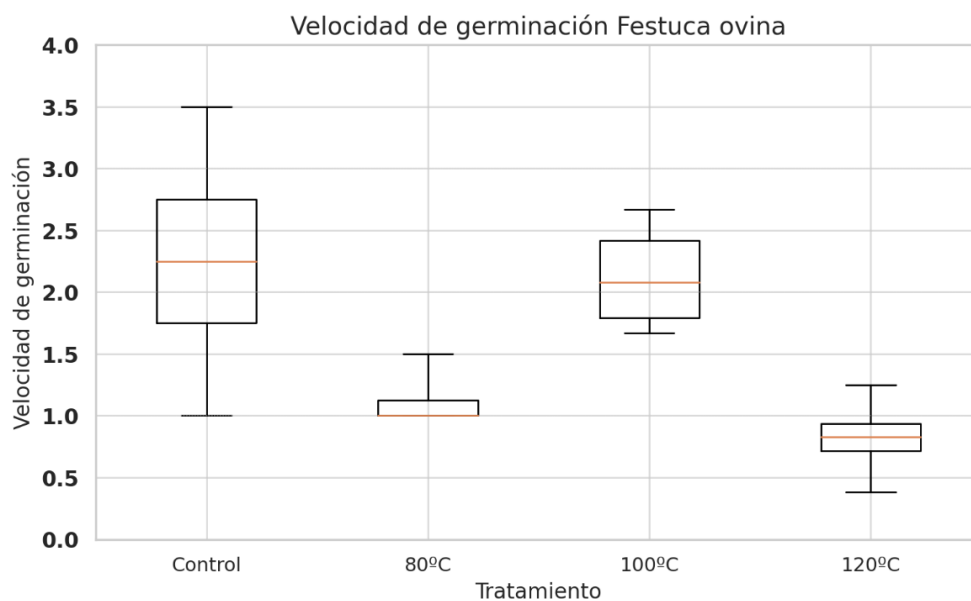


Figura 10. Velocidad de germinación para los datos de Festuca ovina tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea naranja indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadro indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tratamiento tubo efecto significativo sobre la velocidad de germinación, específicamente el tratamiento de 120°C sobre 100°C produjo una mayor velocidad de germinación y control sobre 120°C.

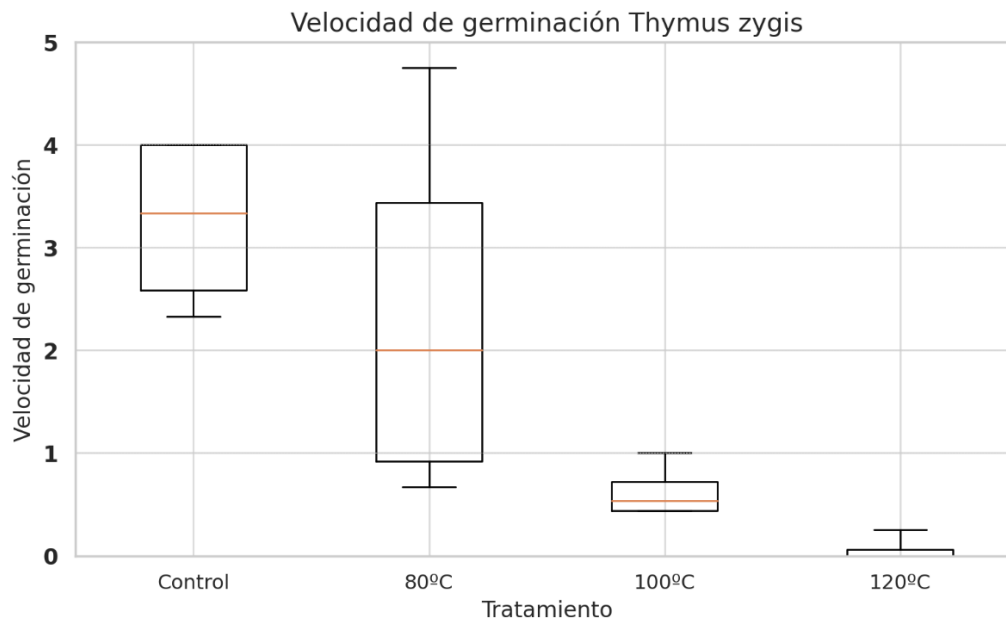


Figura 11. Velocidad de germinación para los datos de *Thymus zygis* tomados en conjunto según los distintos tratamientos de calor. En cada tratamiento la línea naranja indica la mediana, el límite inferior y superior del cuadro indica los cuartiles 1 y 3 respectivamente y la línea horizontal en los extremos fuera del cuadrado gris indican los valores máximo y mínimo de los datos, sin tener en cuenta los valores atípicos indicados por los círculos. El tratamiento tubo efecto significativo sobre la velocidad de germinación, específicamente el tratamiento control tiene una mayor velocidad de germinación en comparación con 100°C y 120°C, mientras que 80°C tiene una velocidad mayor en comparación con 120°C.

4. DISCUSIÓN

4.1 Impacto del fuego en la germinación de las especies

El fuego actúa como un importante agente de selección ecológica en los ecosistemas mediterráneos, modulando la composición y dinámica de las comunidades vegetales (Moreira et al., 2010). En este estudio, evidenciamos este proceso de selección al observar cómo la exposición a diferentes temperaturas, simulando condiciones de incendio, influye de manera variable en la germinación de las especies analizadas.

Los resultados muestran que temperaturas intermedias, como 80°C, estimulan significativamente la germinación en *A. vulneraria*, pero a partir de los 100°C su capacidad germinativa comienza a disminuir de manera notable, con tasas de mortalidad muy altas a 100°C y 120°C. Además, su velocidad de germinación decrece a medida que aumenta la temperatura. Este patrón sugiere que, a temperaturas elevadas, la especie no solo reduce su germinación, sino que también enfrenta una alta

mortalidad. Estudios previos, confirman que a partir de 90°C la germinación de *A. vulneraria* se ve gravemente afectada (Hanley & Fenner, 1998).

Un patrón común se observa en especies como *L. stoechas*, *S. chamaecyparissus*, *Th. vulgaris* y *Th. zygis*, donde a 120 °C la germinación es nula, mientras que a 100 °C la tasa de germinación alcanza aproximadamente la mitad de la obtenida a temperaturas más bajas. En el caso de *L. stoechas*, destaca que gran parte de las semillas mueren sin necesidad de aplicar tratamiento térmico, lo que contrasta con las otras tres especies, donde los tratamientos no afectan significativamente la tasa de mortalidad. Este comportamiento podría explicarse por la influencia del humo como factor estimulante (Crosti et al., 2006; Moreira et al., 2010) (ver 4.2 limitaciones, problemas y futuras direcciones). Por su parte, *Th. vulgaris*, al igual que *L. stoechas*, muestra una estimulación significativa de la germinación a 100 °C, lo que sugiere también, que tanto el fuego como el humo pueden desempeñar un papel importante en su regeneración post incendio (Moreira et al., 2010). En el caso de *Th. zygis* resaltar que el análisis sí que ha sido capaz de separar por grupos, indicando que en control y 80°C la velocidad de germinación es mayor. En el caso de *S. chamaecyparissus* y *Th. zygis*, no se ha encontrado información previa en la literatura. Este hecho resalta la relevancia de este trabajo, ya que podría ser uno de los primeros en aportar datos sobre el comportamiento de las semillas de estas especies frente al calor.

En tercer lugar, se observa que las especies *Te. polium*, *O. viciifolia* y *B. phoenicoides* presentan una disminución tanto en la tasa como en la velocidad de germinación al aumentar la temperatura. Esto sugiere que el fuego podría actuar como un factor limitante para la germinación de estas especies. En el caso de *Te. polium*, no se han encontrado estudios previos que analicen específicamente cómo afecta el fuego a su germinación. Asimismo, tampoco existe información acerca del efecto del calor sobre la germinación de *B. phoenicoides* y *O. viciifolia*. Resaltar que *O. viciifolia* es una especie perteneciente a la familia de las leguminosas y estas suelen presentar latencia física (J. G. Pausas & Lamont, 2022). Sin embargo, según este trabajo a medida que la temperatura aumenta, disminuye su germinación. Esto puede ser debido a factores que no se han tenido en cuenta en este trabajo (ver 4.2 limitaciones, problemas y futuras direcciones).

Por último, las especies *D. glomerata*, *F. ovina* y *F. rubra* no mostraron cambios significativos en sus tasas de germinación frente a los tratamientos de calor, lo que sugiere una mayor resistencia a altas temperaturas. No obstante, en el caso de *F. ovina*, se identificaron diferencias en la velocidad de germinación según los tratamientos: mientras que la velocidad más alta se presentó en el control, a 120°C esta velocidad fue mayor que a 100°C. Este comportamiento podría explicarse por la presencia

de latencia física, un mecanismo que evita la germinación prematura frente a incrementos de temperatura (Vivanco et al., 2021).

Las diferencias observadas subrayan la diversidad de estrategias de germinación en respuesta al fuego de las especies usadas en restauración ecológica en ambientes mediterráneos. Mientras que algunas especies están altamente especializadas para regenerarse tras incendios, otras muestran una mayor tolerancia a diferentes regímenes térmicos, lo que refleja un margen adaptativo clave para su persistencia en entornos mediterráneos.

En este trabajo se destaca el papel esencial del fuego en la configuración de las comunidades vegetales mediterráneas, demostrando cómo las especies han desarrollado estrategias de adaptación para enfrentar condiciones extremas. Esta capacidad de resiliencia no solo refleja la estrecha relación entre las plantas y su entorno, sino que también resalta la importancia de comprender estos procesos para guiar futuras estrategias de restauración ecológica, como el proyecto LIFE-Ribermine.

4.2 Limitaciones, problemas y futuras direcciones

Aunque este estudio ha proporcionado una visión experimental sobre la respuesta de diferentes especies al fuego simulado mediante tratamientos térmicos, es fundamental reconocer las limitaciones y los problemas encontrados a lo largo del desarrollo del trabajo.

Una de las principales limitaciones radica en la simplificación experimental. El uso de un entorno controlado en laboratorio, si bien permite aislar los efectos del calor, no refleja completamente las complejas interacciones presentes en escenarios reales de incendios. Factores como la humedad del suelo, la presencia de humo y la variabilidad en la intensidad del fuego no pudieron ser replicados, aunque son determinantes clave en la respuesta germinativa de las especies (Blanco, 2012; Moreira et al., 2010). Por ejemplo, el humo, a menudo asociado con incendios forestales, contiene compuestos como las karrikinas, que pueden estimular la germinación en ciertas especies. Un aspecto que no fue abordado en este estudio (López Jaio, 2022).

Otra limitación importante fue la heterogeneidad de las semillas utilizadas. A pesar de los esfuerzos por estandarizar las condiciones iniciales, factores como la variación en la viabilidad de las semillas o su estado de madurez pudieron influir en los resultados. Aunque se realizó la prueba de viabilidad mediante TTC, este método no elimina por completo las posibles variaciones inherentes a los lotes de semillas.

Además, el diseño experimental no incluyó repeticiones bajo distintas condiciones ambientales que imiten microclimas específicos, como la sombra o la exposición directa al sol, que pueden influir significativamente en la temperatura alcanzada en el suelo durante un incendio (Mataix-Solera & Guerrero, 2007). También se debe señalar la dificultad para detectar diferencias significativas en algunas especies debido al tamaño limitado de las muestras. Si bien se realizaron réplicas para cada tratamiento, el número de semillas disponibles y las restricciones logísticas limitaron la posibilidad de realizar análisis más robustos para especies con respuestas más sutiles o variables.

Por último, aunque este estudio aborda los efectos del calor en la germinación, no considera la competencia inter-específica post incendio, un factor crucial en la dinámica de la sucesión ecológica. Es posible que especies que respondan positivamente al fuego en condiciones controladas no puedan establecerse en el campo debido a la competencia con otras especies o a la falta de recursos críticos (Moreno et al., 2013).

Por ello, aunque este trabajo ofrece información valiosa sobre la influencia del fuego en la germinación, futuras investigaciones deberían integrar condiciones más realistas, incluir el efecto del humo y expandir el alcance del experimento para evaluar cómo las especies interactúan en entornos complejos post incendio. De esta forma, los resultados serán de gran ayuda para el mantenimiento de nuestros bosques y masas forestales.

5. CONCLUSIÓN

Este estudio ha permitido evaluar la respuesta germinativa de diversas especies mediterráneas utilizadas en el proyecto LIFE-Ribermine frente a diferentes tratamientos térmicos, simulando las condiciones de un incendio forestal. Destaca la diversidad de respuestas germinativas, desde especies que prosperan bajo temperaturas moderadas hasta aquellas que muestran limitaciones significativas a altas temperaturas. Se han encontrado especies que han resistido o incluso se han beneficiado de los efectos del calor, como son *D. glomerata*, *F. ovina* y *F. rubra*, pero, al contrario, otras que no, como es el caso de *Te. polium*, *O. viciifolia* y *B. phoenicoides*, las cuales conforme aumentaba la temperatura, bajaban tanto su tasa de germinación, como su velocidad de germinación. Además de estas resaltar que *A. vulneraria*, la cual muere a temperaturas altas.

Los resultados obtenidos destacan la necesidad de darle importancia al conocimiento sobre la respuesta de las semillas al fuego en proyectos de restauración como LIFE-Ribermine, contribuyendo

a la recuperación eficaz de los ecosistemas mediterráneos y al fortalecimiento de su resiliencia frente a futuros incendios que tendrán consecuencias en nuestros entornos más cercanos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización futuros trabajos y experimentos para seguir con el desarrollo de nuevas técnicas y conocimientos a cerca del comportamiento del fuego los montes mediterráneos. Las respuestas de estas semillas y de otras muchas, se pueden usar de manera positiva en la gran mayoría de estos bosques, llevándolos hacia escenarios de prevención y no de extinción, mejorando así la resiliencia de nuestros montes y cumpliendo con los ODS (ver apartado 1.6 objetivos de desarrollo sostenible). Dentro de estas recomendaciones se sugiere algunas ideas para tener en cuenta en futuros trabajos (ver apartado 4.2 limitaciones, problemas y futuras direcciones).

Hay que destacar tres especies mencionadas (*D. glomerata*, *F. ovina* y *F. rubra*), ya que podrían ser particularmente útiles en escenarios con regímenes de incendios recurrentes, debido a que muestran una mayor resistencia a las condiciones de calor extremo.

7. AGRADECIMIENTOS

Gracias a Ena y Jaume por su ayuda en el laboratorio, además de a todo el equipo de laboratorio. Gracias a David Badía por algunas de las ideas iniciales aportadas al trabajo.

Finalmente, quiero dar un agradecimiento muy especial a mis tutores, Hugo y Jaume, por su constante apoyo, acompañamiento y guía en cada momento. Su ayuda no solo ha sido clave en el ámbito académico, sino también en lo personal y emocional, iniciándome en este trepidante mundo de la investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA

Avila, P., Kin, A. G., & Morici, E. F. A. (2010). Influencia de la temperatura y el tiempo de exposición sobre la germinación y la emergencia de *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack. *Semiárida*, 21, 3-15.

- Blanca. (2023, febrero 11). *Guía Prueba De Shapiro-Wilks: Qué Es, Paso A Paso Y Ejemplo*.
<https://trabajofinal.es/prueba-shapiro-normalidad-ejemplo/>
- Blanco, J. A. (2012). "Incendios Forestales" de Juli G. Pausas. 2012. ISBN: 978-84-8319-714-1/978-84-00-09492-8, Catarata y CSIC, Madrid, España: *Ecosistemas*, 21(3), Article 3.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2102.21-3.20>
- Boccard, N. (2022). On the prevalence of forest fires in Spain. *Natural Hazards*, 114(1), 1043-1057.
<https://doi.org/10.1007/s11069-022-05384-x>
- Briones, F. A. (2020, noviembre 25). *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas*.
Gobierno de Aragón.
https://www.aragon.es/documents/20127/674325/MANUAL_INCENDIOS_CUADRILLAS.pdf/7a477952-318e-3110-a2df-94692725ab98
- Chávez-Jiménez, A., & González-Zeas, D. (2015). El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. *RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agua*, 2(1), 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.04.001>
- Cochrane, M. A. (2009). *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*.
Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8>
- Crosti, R., Ladd, P. G., Dixon, K. W., & Piotto, B. (2006). Post-fire germination: The effect of smoke on seeds of selected species from the central Mediterranean basin. *Forest Ecology and Management*, 221(1), 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.005>
- Ekasari, I., Sadono, R., Marsono, D., & Witono, J. R. (2021). Species composition and richness of viable seed bank after fire events in mount ciremai national park and kuningan botanic gardens, west java, indonesia. *Biodiversitas*, 22(6), Article 6.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220652>
- ESTADÍSTICA GENERAL DE INCENDIOS FORESTALES (EGIF). (2024, octubre). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/estadisticas-datos.html>

França-Neto, J. de B., & Krzyzanowski, F. C. (2019). Tetrazolium: An important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41, 359-366. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3223104>

González-Pérez, J. A., González-Vázquez, R., Rosa Arranz, J. M. de la, & González-Vila, F. J. (2011). *El fuego y la materia orgánica del suelo*. <https://digital.csic.es/handle/10261/49248>

Hammill, K. A., & Bradstock, R. A. (2006). Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: Influence of vegetation type and inferring fire intensity. *International Journal of Wildland Fire*, 15(2), 213. <https://doi.org/10.1071/WF05051>

Hanley, M. E., & Fenner, M. (1998). Pre-germination temperature and the survivorship and onward growth of Mediterranean fire-following plant species. *Acta Oecologica*, 19(2), 181-187. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(98\)80022-2](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(98)80022-2)

Herbario JACA /. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2025, de <https://herbario.ipe.csic.es/>

Kanamori, Y., Nishijima, S., Misawa, R., Seto, T., & Narimatsu. (2024, febrero 1). *Distributional shifts change the biodiversity–ecosystem stability relationship under climate change*. SciSpace - Paper; Cold Spring Harbor Laboratory. <https://doi.org/10.1101/2024.01.31.578304>

Kelley, D. I., Bistinas, I., Whitley, R., Burton, C., Marthews, T. R., & Dong, N. (2019). How contemporary bioclimatic and human controls change global fire regimes. *Nature Climate Change*, 9(9), 690-696. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0540-7>

Lix, L. M., Keselman, J. C., & Keselman, H. J. (1996). Consequences of Assumption Violations Revisited: A Quantitative Review of Alternatives to the One-Way Analysis of Variance «F» Test. *Review of Educational Research*, 66(4), 579-619. <https://doi.org/10.2307/1170654>

Lloret, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía: *Ecosistemas*, 21(3), Article 3. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.11>

López Jaio, N. (2022). *Ecofisiología del fuego en ambientes mediterráneos*.

<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/28471>

Mantero, G., Anselmetto, N., Morresi, D., Meloni, F., Bolzon, P., Lingua, E., Garbarino, M., &

Marzano, R. (2024). Modeling post-fire regeneration patterns under different restoration scenarios to improve forest recovery in degraded ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 551, 121520. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121520>

Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2007). *Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas*. 5-40.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Seguimiento y evaluación de los tipos de hábitat y las especies en España*. (s. f.). Recuperado 13 de enero de 2025, de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/rn2k/boletines/boletinn1rn2000_tcm30-519920.pdf

Moreira, B., Tormo, J., Estrelles, E., & Pausas, J. G. (2010). Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. *Annals of Botany*, 105(4), 627-635. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq017>

Moreno, J. M., Álvarez Cobelas, M., Benito, G., Catalán, J., Ramos, M. Á., Rosa, D. de la, Valladares Ros, F., & Zazo, C. (2005). *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. <https://digital.csic.es/handle/10261/81302>

Moreno, J. M., Céspedes, B., Chamorro Cobo, D., Luna Trenado, B., Parra, A., Pérez, B., Torres Galán, I., & Urbieto, I. R. (2013). La regeneración post-incendio: Fase crítica para la persistencia de las especies vegetales bajo el cambio climático. *Revista Montes*, 114, 12-16.

Objetivos de Desarrollo Sostenible. (2024, agosto). UNDP. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Oficina de Ciencia y Tecnología del Congreso de los Diputados (Oficina C). (2023). *Informe C:*

Incendios forestales y restauración de zonas quemadas.

<https://doi.org/www.doi.org/10.57952/w67p-j094>

Patil, V. N., & Dadlani, M. (2009). Tetrazolium test for seed viability and vigour. *Handbook of seed testing*, 209, 241.

Pausas, J. (2024). *Incendios forestales, una introducción a la ecología del fuego* (Catarata y CSIC).

<https://www.uv.es/jgpausas/incendios/2012/incendios.html>

Pausas, J. G., & Lamont, B. B. (2022). Fire-released seed dormancy—A global synthesis. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 97(4), 1612-1639.

<https://doi.org/10.1111/brv.12855>

Pausas, J., Llovet, J., Rodrigo, A., & Vallejo, R. (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – A review. *International Journal of Wildland Fire*, 17(6), 713-723.

<https://doi.org/10.1071/WF07151>

Posit. (2025, enero). Posit. <https://www.posit.co/>

PostFire. *Evolución del número de incendios y superficie quemada*. (2024, octubre).

<https://postfire.es/estadisticas.php>

Rodriguez-Cubillo, D., Jordan, G. J., & Williamson, G. J. (2022). Using Multi-decadal Satellite Records to Identify Environmental Drivers of Fire Severity Across Vegetation Types. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 5(3), 165-184. <https://doi.org/10.1007/s41976-022-00070-9>

Schoennagel, T., Balch, J. K., Brenkert-Smith, H., Dennison, P. E., Harvey, B. J., Krawchuk, M. A., Mietkiewicz, N., Morgan, P., Moritz, M. A., Rasker, R., Turner, M. G., & Whitlock, C. (2017). Adapt to more wildfire in western North American forests as climate changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(18), 4582-4590.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1617464114>

- Singh, S. (2022). "Forest fire emissions: A contribution to global climate change". *Frontiers in Forests and Global Change*, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.925480>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (with Internet Archive). (1973). *Introduction to biostatistics*. San Francisco, W. H. Freeman. <http://archive.org/details/introductiontobi00soka>
- Stoof, C. R., Kort, A. D., Bishop, T. F. A., Moore, D., Wesseling, J. G., & Ritsema, C. J. (2011). How Rock Fragments and Moisture Affect Soil Temperatures during Fire. *Soil Science Society of America Journal*, 75(3), 1133-1143. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0322>
- Trigo, R., Turco, M., Jerez, S., Sousa, P., Russo, A., & Ruffault, J. (2022). *Recent and future intense fire seasons in the Mediterranean basin: The increasing role of droughts and heatwaves* (Nos. EGU22-1169). EGU22. Copernicus Meetings. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1169>
- Úbeda, X. (2000). Efectos de los incendios forestales sobre los suelos. *Problemática Ambiental de Suelos Mediterráneos. Universidad Internacional Menéndez Pelayo UIMP*, 118-137.
- VAERSA. (2012). *Manual de buenas prácticas incendios forestales en Prevención de Incendios Forestales*. Conselleria de Governació.
<https://www.112cv.gva.es/documents/163565706/163566495/Manual%20de%20Buenas%20OPr%C3%A1cticas%20en%20Prevenci%C3%B3n%20de%20Incendios%20Forestales%20-%20Castellano/7d26e008-b585-4331-ac2a-a3e976c90231>
- Valdecantos, A., Alloza, J. A., Morcillo, L., Salesa, D., Santana, V., Vilagrosa, A., & Vallejo, V. R. (2022). *Análisis de la vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas y especies mediterráneas a la sequía y al fuego*. 1-24.
- Vivanco, P., Oliveira, J. A., & Martín, I. (2021). Optimal germination conditions for monitoring seed viability in wild populations of fescues. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19(3), Article 3. <https://doi.org/10.5424/sjar/2021193-18025>

Wasserman, T. N., & Mueller, S. E. (2023). Climate influences on future fire severity: A synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecology*, 19(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8>

World Bank Climate Change Knowledge Portal. (2024, noviembre). <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

9. ANEXOS

9.1 ANEXO A: Gráficos para la tasa de germinación, tasa de muertes y velocidad de germinación de aquellas especies en las que el efecto del tratamiento no es significativo, pero se observa una tendencia en los resultados.

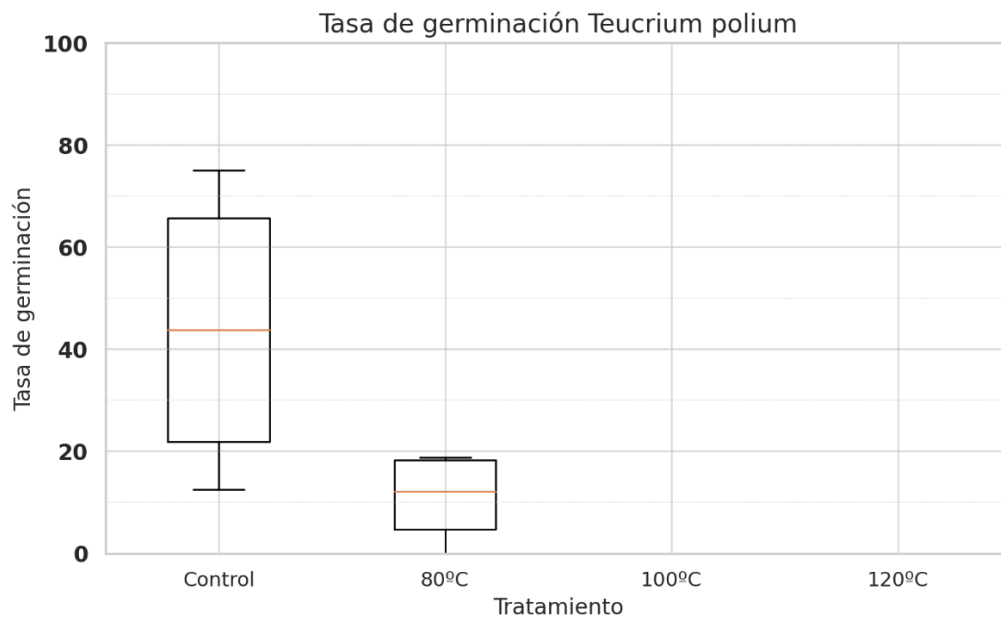


Figura A1. Tasa de germinación *Teucrium polium*

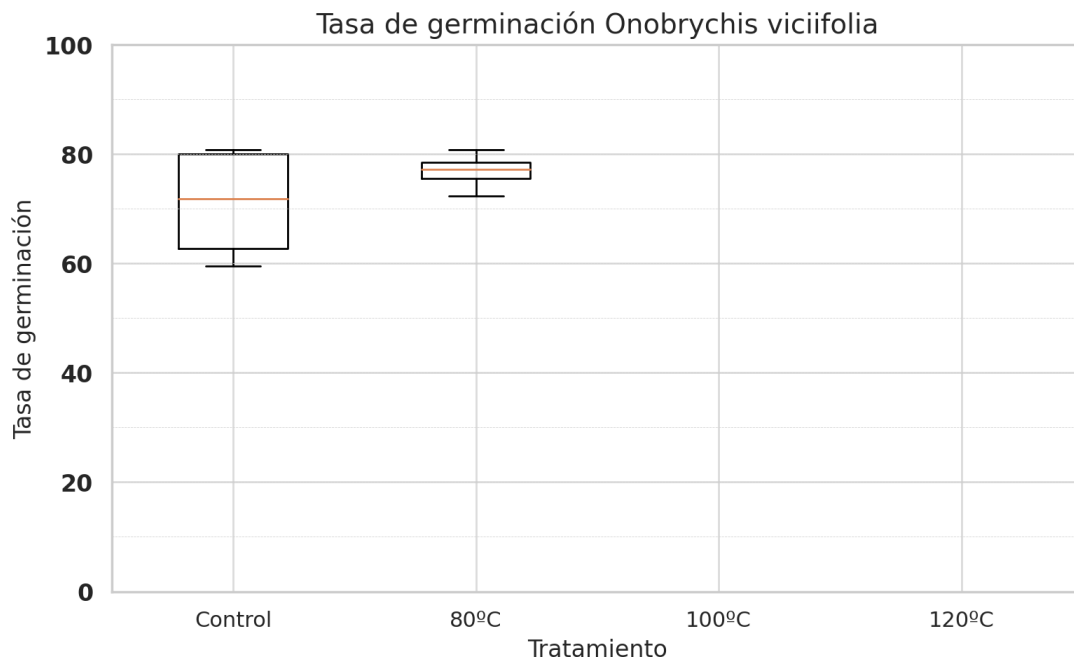


Figura A2. Tasa de germinación *Onobrychis viciifolia*

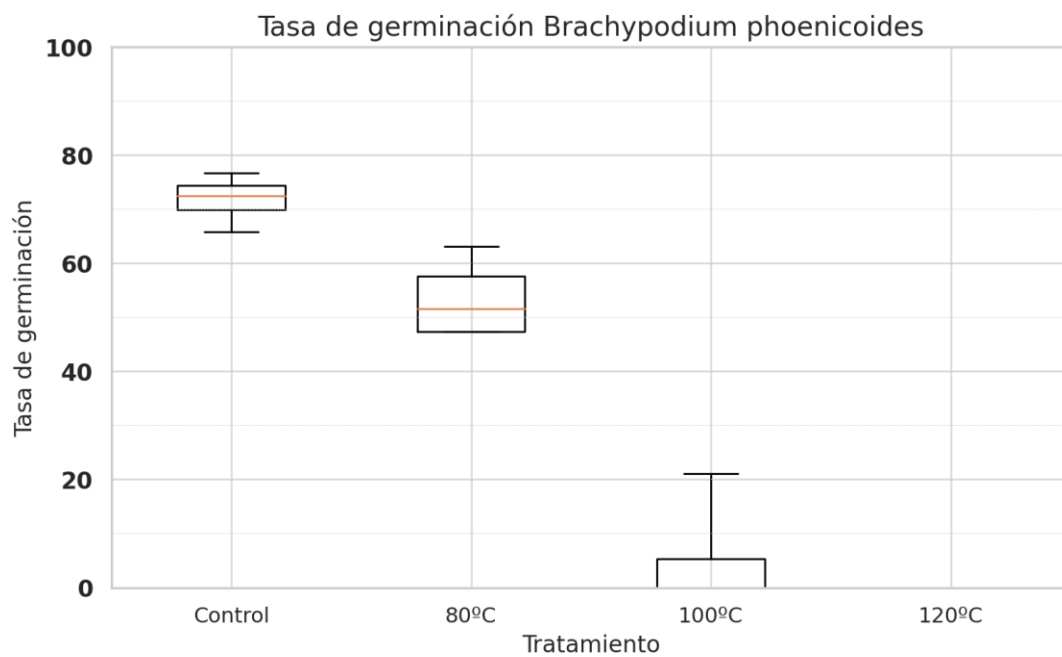


Figura A3. Tasa de germinación *Brachypodium phoenicoides*

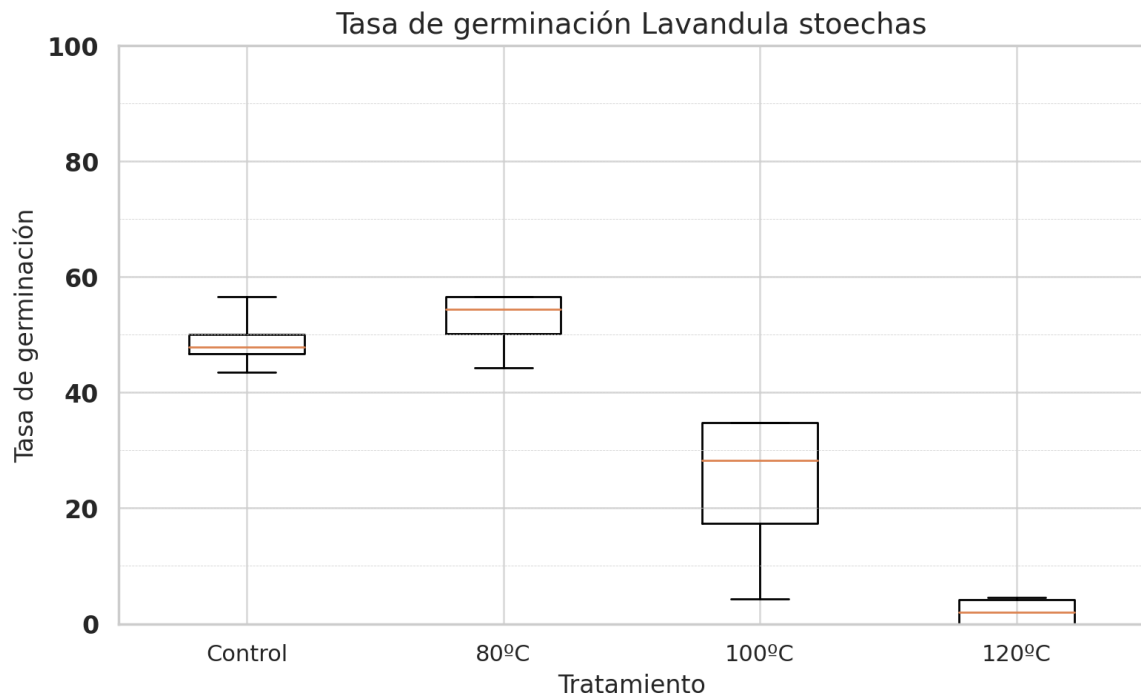


Figura A4. Tasa de germinación Lavandula stoechas

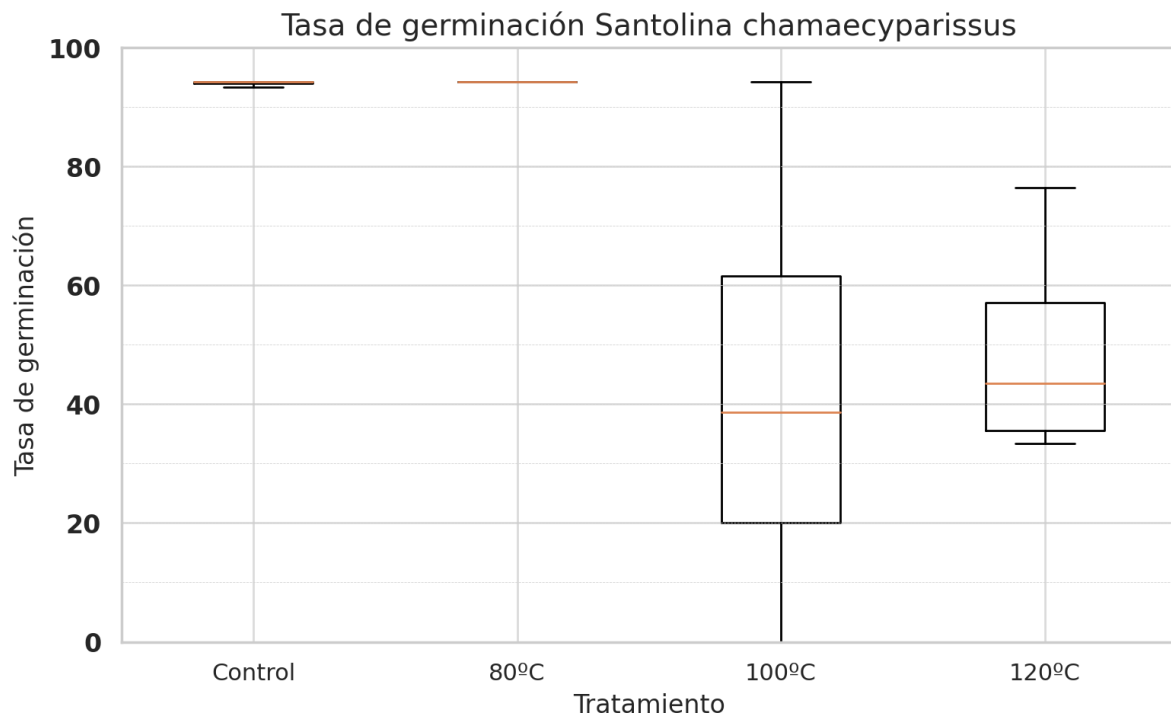


Figura A5. Tasa de germinación Santolina chamaecyparissus

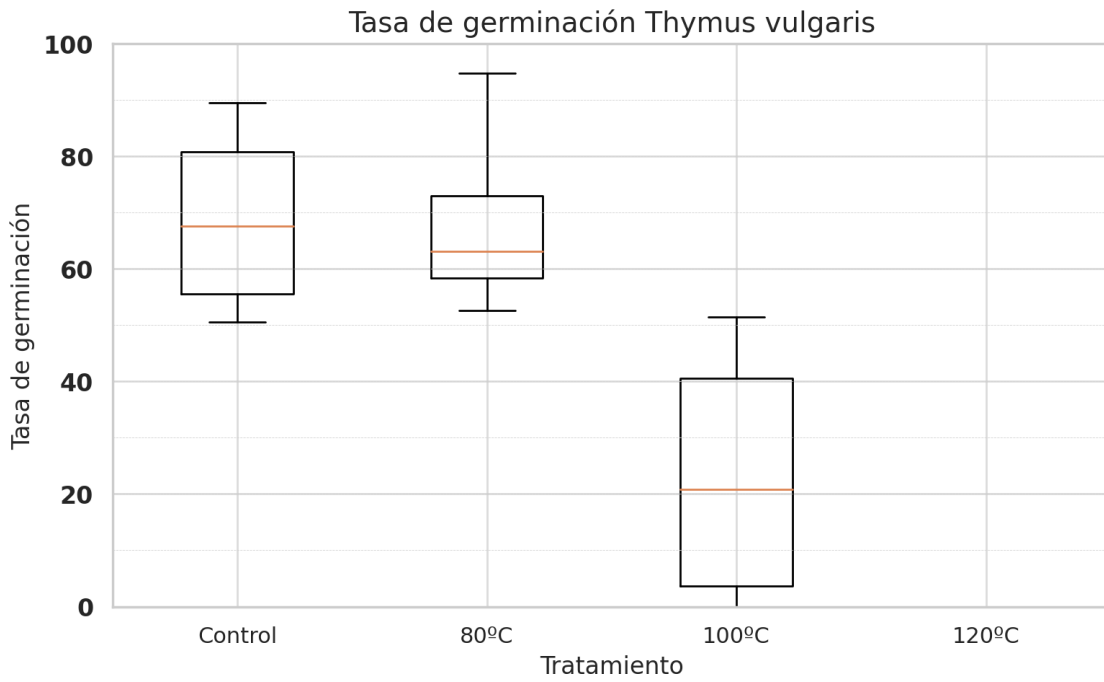


Figura A6. Tasa de germinación *Thymus vulgaris*

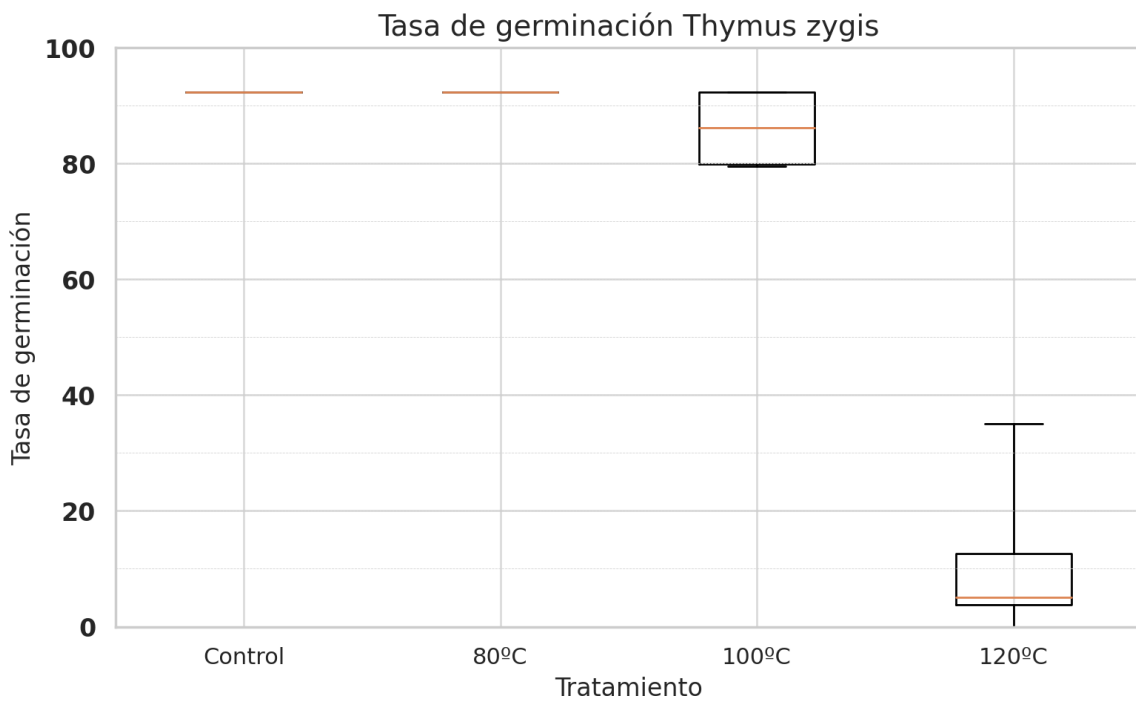


Figura A7. Tasa de germinación *Thymus zygis*

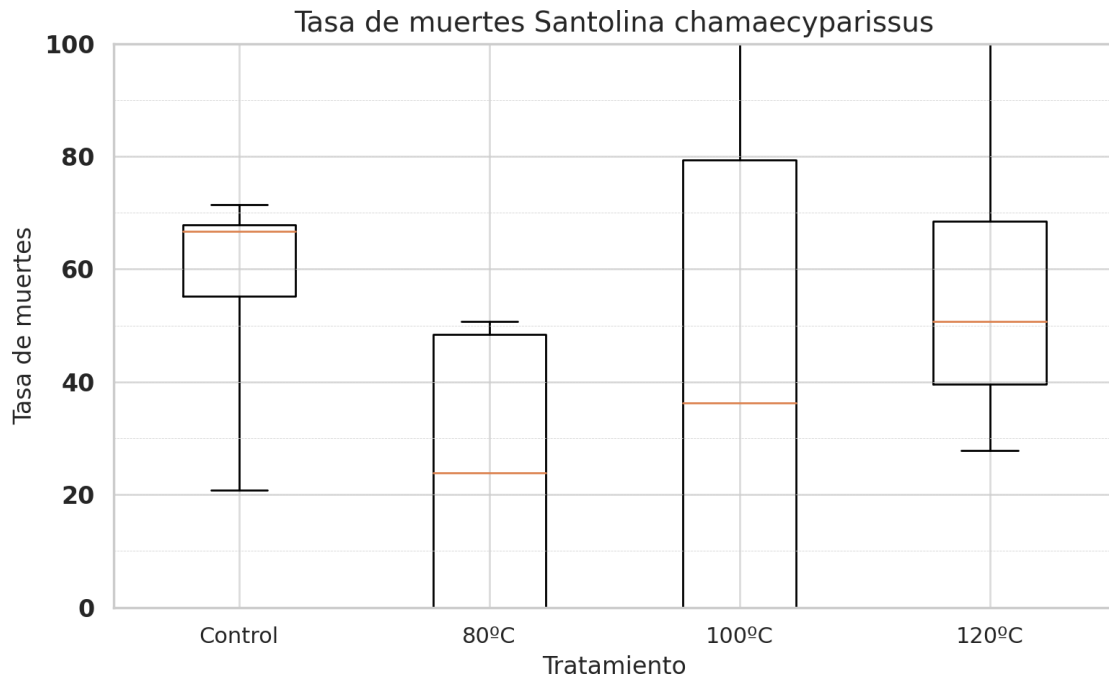


Figura A8. Tasa de muertes Santolina chamaecyparissus

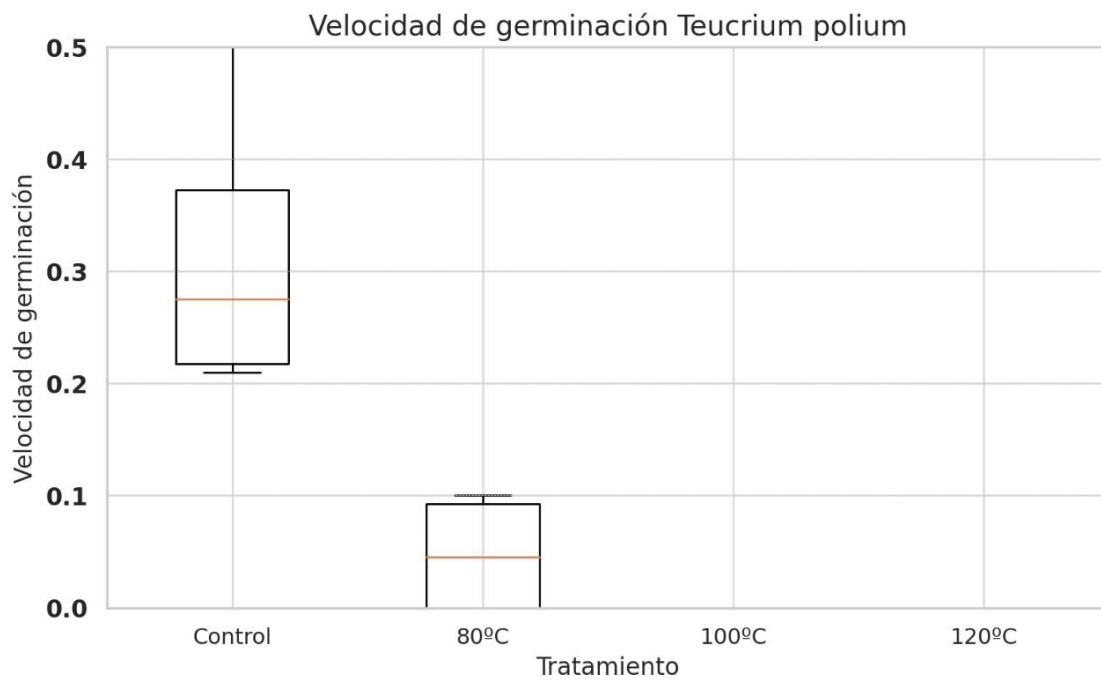


Figura A9. Velocidad de germinación Teucrium polium

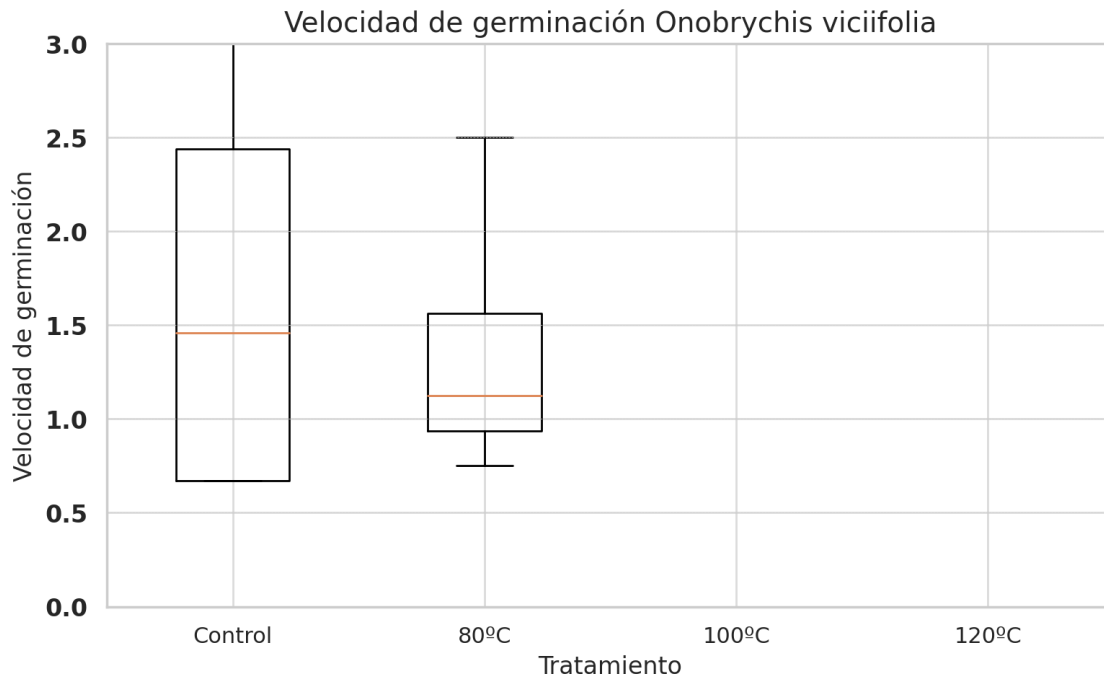


Figura A10. Velocidad de germinación *Onobrychis viciifolia*

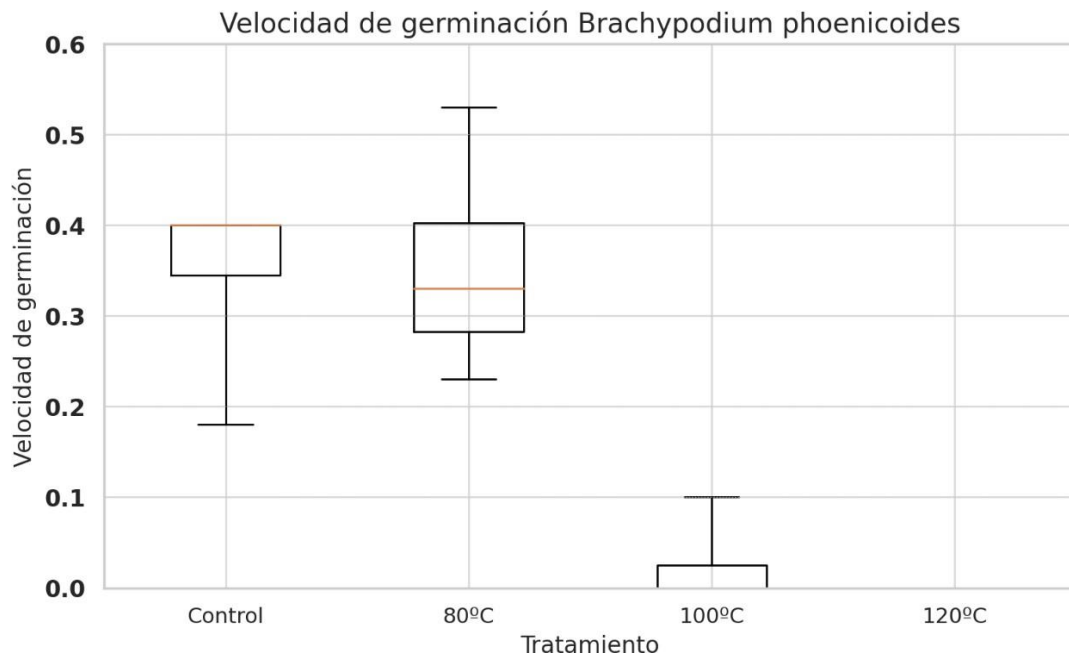


Figura A11. Velocidad de germinación *Brachypodium phoenicoides*

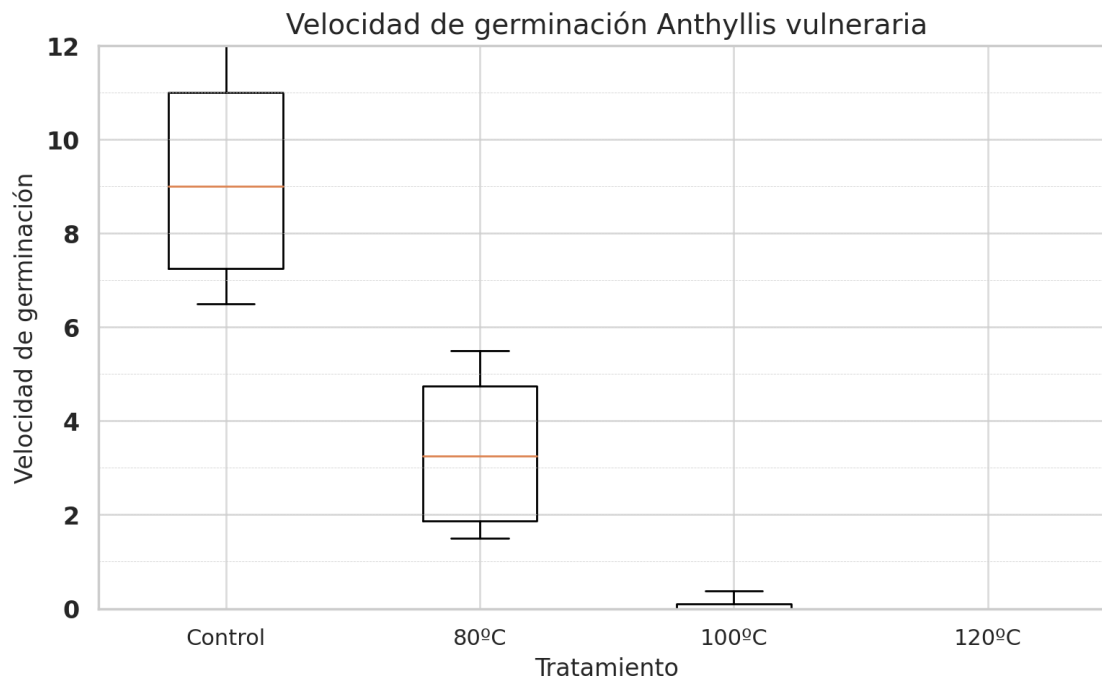


Figura A12. Velocidad de germinación Anthyllis vulneraria

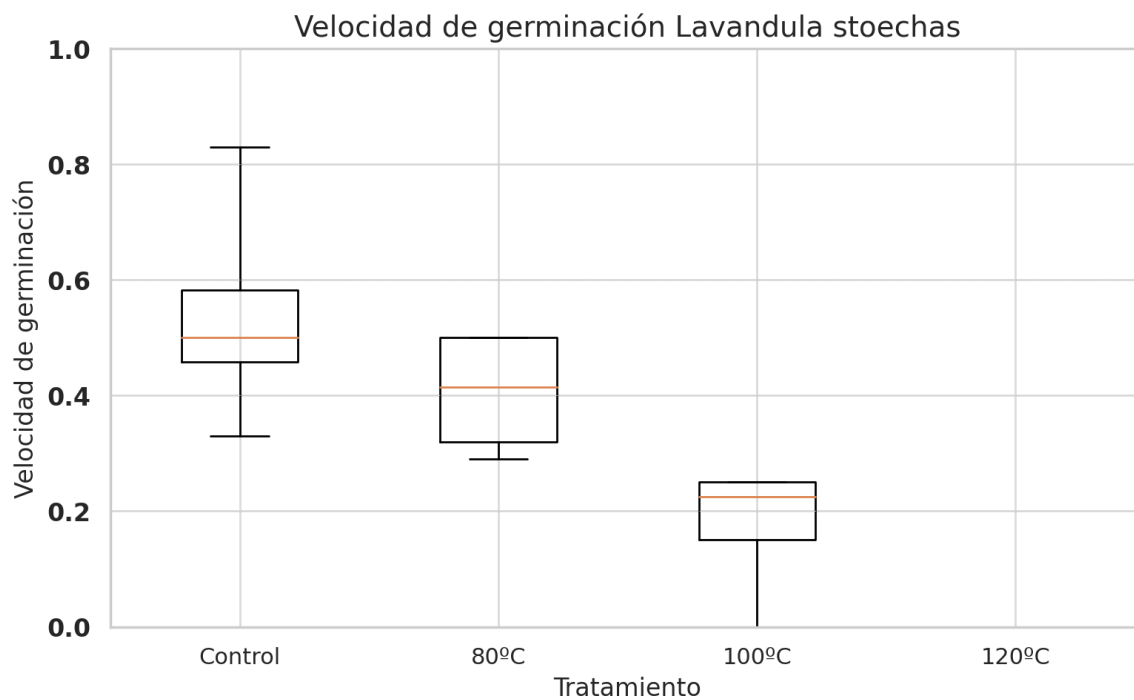


Figura A13. Velocidad germinación Lavandula stoechas

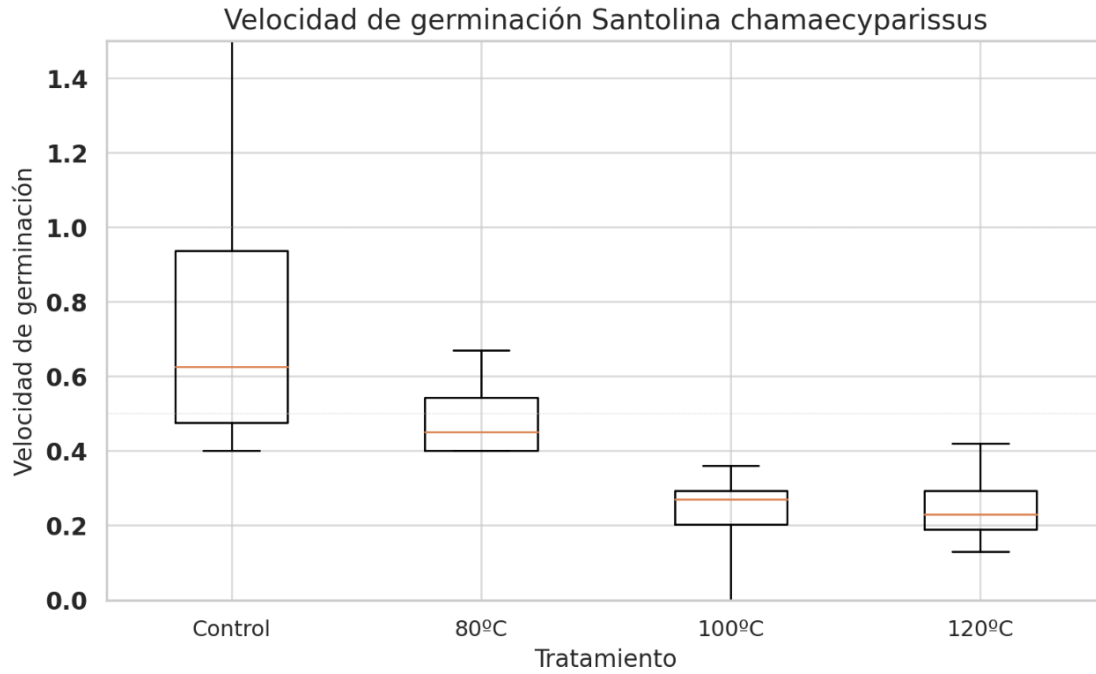


Figura A14. Velocidad de germinación Santolina chamaecyparissus

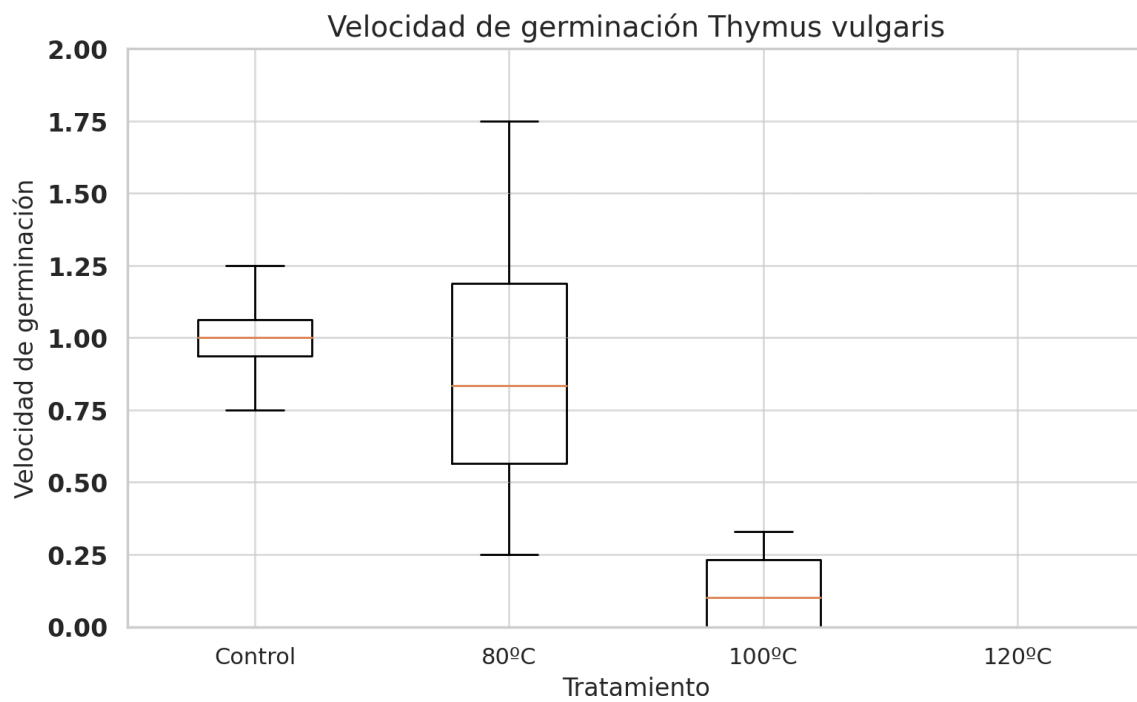


Figura A15. Velocidad de germinación Thymus vulgaris

9.2 ANEXO B: Tablas explicativas sobre el calentamiento del suelo en incendios forestales

Tabla B1. Tabla orientativa indicando las alteraciones en el suelo dependiendo de la temperatura alcanzada (Mataix-Solera & Guerrero, 2007)

Temperatura °C	Alteración
40-70	<i>Degradación de proteínas y muerte de tejidos biológicos</i>
48-54	<i>Deshidratación de determinadas raíces o muerte</i>
70-90	<i>Muerte de determinadas semillas</i>
50-121	<i>Muerte de microorganismos edáficos</i>
180-300	<i>Destilación destructiva y combustión de alrededor del 85% del horizonte orgánico</i>
200-250	<i>Puede incrementarse la hidrofobicidad del suelo mineral</i>
200-315	<i>Comienza la destilación de la materia orgánica del suelo</i>
270-300	<i>Destrucción de la hidrofobicidad del suelo</i>
200-400	<i>Comienza la destilación de nutrientes (particularmente N)</i>
>300	<i>Los horizontes orgánicos superficiales del suelo son enteramente consumidos</i>
420	<i>Pérdidas de agua en los minerales de la fracción arcilla</i>
≈ 450	<i>Completo consumo de la materia orgánica</i>
600	<i>Máxima pérdida de fósforo y potasio, oxidación de enlaces metálicos</i>
800	<i>Oxidación de azufre</i>
980	<i>Cambios irreversibles en los minerales de la arcilla</i>
1240	<i>Volatilización del calcio</i>

Tabla B2. Resumen cronológico de diferentes estudios donde se recogen temperaturas del suelo en incendios forestales, elaborada por Úbeda (2000) y actualizada (Mataix-Solera & Guerrero, 2007).

Autor (año)	Temp. °C	Profundidad (cm)	Tipo de vegetación
Heyward (1938)	135	0,32-0,64	Pinar
Cook (1939)	550	Superficie	Prado
Beadle (1940)	250	2,5	Bosque denso
	105	7,5	
	60	1,5	
Sampson (1944)	538	Superficie	Garriga
	149	3,8	
Masson (1949)	700	Superficie	Sabana
Uggla (1958)	438	Superficie	Bosque de coníferas
	27	3	
	17	7	
Bentley & Fenner (1958)	590	Superficie	Garriga
	399	1	
Bentley & Fenner (1958)	177	Superficie	Prado
	93	1,3	
Uggla (1960)	1150	Superficie	Pinar
	500	3	
Humphreys & Lambert (1965)	900	Superficie	Eucaliptos
	100	5	
Smith & Sparling (1966)	400-200	Superficie	Matorral
Floyd (1966)	510	Superficie	Bosque denso
	44		
Cramer (1966)	666	Superficie	Eucaliptos
	112		
Tohill & Shaw (1968)	245	Superficie	Prado
	68	1,3	
DeBano & Rice (1971)	716	Superficie	Bosque denso (por la tarde)
	166	2,5	
	66	5	Bosque denso (por la noche)
	316	Superficie	
66	2,5		
43	7,6		
Agee (1973)	93	Superficie	Pinar
Dunn & DeBano (1977)	800	Superficie	Matorral
	500	1	
Trabaud (1979)	250	Superficie	Coscojar
	125	2,5	
	50	5	
DeBano et al. (1979)	700-250	Superficie	Garriga
	200-90	2,5	
Wells (1979)	250	Superficie	Diferentes tipos ceniza negra
	100	2	
Wells (1979)	500-750	Superficie	Diferentes tipos ceniza blanca
	350-450	2	
	150-300	3	
	<100	5	

Biederbeek et al. (1980)	388-442	Superficie	Rastrojos
Rasmussen et al. (1986)	170-330	Superficie	Trigo
Ventura et al. (1994)	700	Superficie	Pinar
	300	1,5	
Sánchez et al. (1994)	340	Superficie	Pinar Estepa Gramíneas Sin vegetación
	740	Superficie	
	280	Superficie	
	51	Superficie	
Luchessi et al. (1994)	180	Superficie	Matorral
	50	2,5	
	475	Superficie	
	90	2,5	Matorral poco denso
	40	5	
	600	Superficie	
Úbeda (1998)	50	1	Prado
Mataix-Solera (1999)	702	Superficie	Aulagar (<i>Ulex parviflorus</i>)
	22	5	