



universidad
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**EFFECTOS DEL CHOQUE TÉRMICO EN LA
GERMINACIÓN, CRECIMIENTO Y
SUPERVIVENCIA DE PLÁNTULAS DE DOS
ESPECIES DE PINO**

**EFFECTS OF HEAT SHOCK ON THE
GERMINATION, GROWTH AND SURVIVAL OF
SEEDLINGS OF TWO SPECIES OF PINE**

Autor: Laura Boada Álvarez

Tutores: Reyes Tárrega García-Mares y María Leonor
Calvo Galván

GRADO EN BIOLOGÍA

Julio, 2022

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN ----- pág 1

MATERIAL Y MÉTODOS ----- pág 3

Tratamiento de datos ----- pág 6

RESULTADOS ----- pág 6

Experimento de siembra en tiestos ----- pág 6

Experimento de siembra en placas ----- pág 9

DISCUSIÓN ----- pág 10

CONCLUSIONES ----- pág 12

REFERENCIAS ----- pág 13

ANEXO ----- pág 15

RESUMEN

Las especies de plantas que sufren frecuentemente las consecuencias del fuego han ido adquiriendo características adaptativas a lo largo del tiempo. En el presente trabajo se analiza el efecto de las altas temperaturas alcanzadas en un incendio de severidad moderada y alta en la germinación de dos especies de pinos, *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus sylvestris* L. Para lo cual, se estudia la germinación en placas petri y la germinación y crecimiento en tiestos, comparando la respuesta en función del tipo de suelo. Los resultados del experimento muestran una diferencia notable en cuanto a la germinación, siendo la de semillas de *P. pinaster* Ait. mucho más elevada que la de *P. sylvestris* L. Las semillas de *P. pinaster* Ait. muestran una mayor tasa de germinación tanto a 70°C como en situación control, aunque ninguna de las dos especies puede soportar temperaturas de 110°C. No se obtuvo germinación en tiesto de las semillas de *Pinus sylvestris* L. El crecimiento de las partes aéreas y subterráneas de plántulas de *P. pinaster* Ait. no se ve afectado por las altas temperaturas ni el tipo de sustrato, aunque este último sí parece afectar a la relación longitud parte aérea/subterránea.

PALABRAS CLAVE: *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, germinación, calor, incendios forestales.

ABSTRACT

Plant species that frequently suffer the consequences of fire have been acquiring adaptive characteristics over time. In the present work, the effect of the high temperatures reached in a fire of moderate and high severity on the germination of two species of pines, *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus sylvestris* L., is analyzed. For which, germination in petri dishes and germination and growth in pots are studied, comparing the response depending on the type of soil. The results of the experiment show a notable difference in terms of germination, being that of *Pinus pinaster* Ait. seeds much higher than that of *Pinus sylvestris* L. *Pinus pinaster* Ait. seeds show a higher germination rate both at 70°C and in the control situation, although neither of the two species can withstand temperatures of 110°C. Pot germination of *Pinus sylvestris* L. seeds was not obtained. The growth of the aerial and subterranean parts of *Pinus pinaster* Ait. seedlings is not affected by high temperatures or the type of substrate, although the latter does seem to affect the aerial/underground part length ratio.

KEY WORDS: *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, germination, heat, forest fires.

INTRODUCCIÓN

Uno de los fenómenos más relevantes que afectan tanto a especies como a ecosistemas a nivel mundial son los incendios forestales (Reyes y Casal, 2004). Los ecosistemas han sufrido los efectos del fuego durante millones de años, el cual ha favorecido la modelación y configuración de las comunidades que tienden a soportar incendios, contribuyendo significativamente a la evolución de las especies (Bond y Keeley, 2005). Son principalmente las plantas las que mantienen una estrecha unión con el fuego, constituyendo el combustible necesario para que este se desencadene (Pausas, 2010).

Las plantas de ambientes con incendios recurrentes han adquirido a lo largo de la evolución rasgos funcionales que las han dotado de resistencia ante estos. Los incendios promueven la selección de rasgos relacionados con el rebrote vegetativo y el reclutamiento de nuevos individuos como estrategias de recuperación. De esta manera podemos encontrar especies rebrotadoras, germinadoras o reclutadoras, o incluso especies facultativas que cuentan con ambas estrategias a la vez. La recolonización se produce rápidamente en aquellas especies que presentan una elevada producción de semillas y una eficiente dispersión de las mismas (Pausas y Keeley, 2014). Así, el rebrote, la serotinia y la estimulación de la germinación por el calor y el humo son una representación de estas características adaptativas adquiridas en ambientes expuestos al fuego (Keeley, *et al.*, 2011). La serotinia en concreto es un fenómeno que podemos encontrar en algunos pinos como *P. pinaster*. Estos acumulan al menos parte de su producción de semillas en estructuras leñosas denominadas conos seróticos que se abren con el calor del fuego facilitando la dispersión de las semillas. Aun así, la adaptación de las plantas es referente al régimen de incendios, y no al fuego en sí, ya que de este dependerá que se den unas estrategias de recuperación u otras dependiendo de la eficacia que estas puedan tener según el intervalo en el que se producen los incendios (Pausas, 2010).

El efecto del fuego depende en gran parte de las temperaturas alcanzadas y del tiempo que se mantienen. Estos dos elementos van a influir tanto en la cantidad de semillas que pueden germinar, como en la posibilidad de que estas broten (Reyes y Casal, 1995). Las temperaturas alcanzadas, la disponibilidad de micrositios apropiados para el establecimiento y supervivencia de las plántulas y la posición de las semillas en el banco de semillas del suelo son factores determinantes en la regeneración de los pinos tras un incendio (Keeley y

Zedler, 1978; St Pierre, *et al.*, 1992; Lloret, *et al.*, 1996; Habrouk, *et al.*, 1999; Álvarez, *et al.*, 2007).

Los pinares representan uno de los ecosistemas mediterráneos más afectados por los incendios (González De Vega, *et al.*, 2016; Cruz, *et al.*, 2019). En los momentos posteriores tras un incendio, que se encuentren disponibles semillas viables en la zona afectada por el fuego es el principal factor necesario para que pueda producirse la regeneración de los pinares. La mayoría de pinos son germinadores obligados y se recuperan rápidamente después de un incendio gracias a la abundante germinación de semillas (Ne'eman y Arianoutsou, 2021). Estas semillas pueden tener su origen en el banco de semillas del suelo, en conos serótimos o en conos maduros que se encuentren en árboles que hayan sobrevivido al fuego (Martínez-Sánchez, *et al.*, 1995; Álvarez, *et al.*, 2007). La supervivencia de las semillas frente a las altas temperaturas que se alcanzan durante el incendio depende por una parte del lugar en el que se encuentren las semillas: en el banco de semillas del suelo o en el banco del dosel. El banco de semillas de *P. pinaster* se mantiene en los conos serótimos del dosel, los cuales se abren una vez que se ha producido el fuego (Daskalaku y Thanos, 1996; Rodrigo, *et al.*, 2004; Álvarez, *et al.*, 2007). Gracias a estos conos serótimos *P. pinaster* presenta una mayor tolerancia a temperaturas más altas (Torres Carretero, 2002; Álvarez, *et al.*, 2007). Por el contrario, *P. sylvestris* no presenta conos serótimos (Lanner, 1998; Álvarez, *et al.*, 2007), y por lo tanto no tolera tan bien las altas temperaturas.

Tanto el porcentaje de germinación como el establecimiento de las plántulas son factores importantes a tener en cuenta en el control de la regeneración de los pinos tras un incendio. El fuego también puede afectar directamente a la supervivencia de las plántulas (Hanley y Fenner, 1998; Álvarez, *et al.*, 2007) como consecuencia del aumento de temperatura y los cambios que se producen en la humedad tras el fuego (Valbuena y Trabaud, 1993; Daskalaku y Thanos, 1996; Álvarez, *et al.*, 2007). La germinación de las semillas se ve influida por el choque térmico, ya que este altera el embrión y si es suficientemente elevado puede llegar a destruirlo (Álvarez, *et al.*, 2007). Por otra parte, las semillas de mayor tamaño son capaces de tolerar mejor las altas temperaturas (Kandya y Ogino, 1986; Escudero, *et al.*, 2000; Reyes y Casal, 2001; Álvarez, *et al.*, 2007) y emerger más fácilmente desde el suelo a mayor profundidad que las semillas de menor tamaño (Hanley y Fenner, 1998; Álvarez, *et al.*, 2007). El crecimiento de las plántulas se puede ver comprometido por el efecto que

tienen las altas temperaturas sobre las proteínas, la pared celular y el metabolismo celular en las semillas (Anderson, 2004; Álvarez, *et al.*, 2007).

El objetivo principal del presente estudio es comparar el comportamiento en cuanto a la germinación de dos especies de pino, *P. pinaster* y *P. sylvestris* frente al efecto de las altas temperaturas alcanzadas en un incendio de severidad moderada y alta. Para lo cual, se estudia en laboratorio la germinación en placas petri y la germinación y crecimiento en tiestos, comparando la respuesta en función del tipo de suelo. Se pretende además determinar si el tipo de sustrato influye en estas variables. Para ello, se siembran las semillas de las dos especies, sometidas a tratamientos térmicos (110°C, 70°C y no calentadas o control), en tiestos con suelo procedente de pinares de *P. pinaster* y de *P. sylvestris*. Para determinar exclusivamente el efecto del calor en la germinación, se repite el experimento con semillas calentadas a las mismas temperaturas, sembradas sobre placas petri.

Se espera que *P. pinaster* sea más tolerante a las temperaturas elevadas o, por lo menos, no se vea afectada negativamente por ellas en comparación con *P. sylvestris*. Además, cabe esperar que esta tolerancia al calor represente una ventaja frente al establecimiento y crecimiento de las plántulas de pino, que no deberían experimentar efectos notablemente negativos (Álvarez *et al.*, 2007).

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento sobre el que se basa el presente estudio se ha realizado utilizando semillas de dos especies de pino: *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*, procedentes de la Sierra del Teleno y la Sierra de Guadarrama respectivamente. Las semillas de *P. pinaster* y *P. sylvestris* fueron suministradas por el Centro de Recursos Genéticos Forestales “El Serranillo”, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Fig. 1).

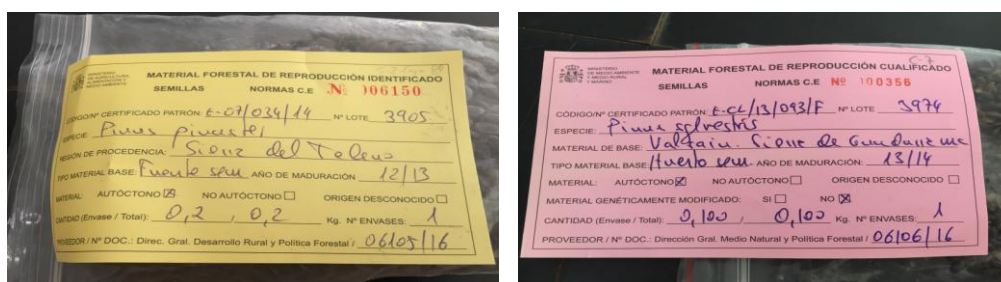


Figura 1. Lotes de semillas de *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris* empleadas en la germinación.

Para el diseño experimental se tienen en cuenta dos variables: la variable temperatura y la variable sustrato. En cuanto a la temperatura, las semillas han sido sometidas a tres tratamientos: control, 70°C y 110°C, a los cuales han sido expuestas durante un tiempo de 5 minutos. Respecto al sustrato, las semillas se han sembrado tanto en sustrato propio como en sustrato de la otra especie, teniendo así semillas de *P. pinaster* sembradas en sustrato propio y en sustrato de *P. sylvestris* y viceversa. Las temperaturas fueron seleccionadas con la finalidad de simular las temperaturas alcanzadas en un incendio forestal de manera natural (Núñez y Calvo, 2000). Las muestras de tipos de sustrato se tomaron en la localidad de Tabuyo del Monte, en la provincia de León, bajo formaciones de cada tipo de pino.

El choque térmico se llevó a cabo en una estufa a las temperaturas y tiempo correspondientes a cada tratamiento. Se utilizaron vasos de plástico de tamaño pequeño (9 cm de alto y 7 cm de diámetro) como tiestos para plantar las semillas de ambas especies. En cada tiesto se plantó un piñón y se realizaron 10 réplicas por tratamiento térmico, contando con un total de 60 tiestos para cada especie (30 en sustrato propio y 30 en el sustrato de la otra especie), 120 tiestos en total (Fig. 2). Los vasos se agujerearon en su base para absorber el agua utilizada para el riego, la cual se vertía directamente en las bandejas que contenían los tiestos; evitando el riego directo sobre el sustrato.

La siembra se realizó el día 2 de septiembre de 2020, revisando cada 7 días el número de semillas germinadas hasta alcanzar los 28 días posteriores a la siembra, momento en el que concluye el experimento.



Figura 2. Semillas de *P. pinaster* y *P. sylvestris* tras ser sometidas a choque térmico y muestra de la disposición de los tiestos.

Una vez finalizado el experimento, se extrajeron las plántulas de pino que habían germinado y se tomaron medidas de las longitudes de las partes aéreas y subterráneas (Fig. 3).



Figura 3. Plántula de pino recién extraída y ejemplo de toma de medidas de longitud de parte aérea y subterránea.

En este experimento, no se produjo germinación de ninguna semilla de *P. sylvestris*. Teniendo en cuenta que las condiciones del experimento en tiestos podían comprometer la germinación, el experimento se desarrolló también en placas petri eliminando en este caso la variable sustrato. Se sembraron 25 semillas por cada placa realizando 4 réplicas por cada tratamiento, contando con un total de 16 placas para cada especie (Fig. 4). Para la siembra en placa se utilizaron discos de papel de filtro sobre los que se dispusieron las semillas, introduciendo posteriormente el total de placas en una cámara de germinación con fotoperiodo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Al igual que en el experimento anterior, se revisó cada 7 días el número de semillas germinadas hasta alcanzar los 28 días posteriores a la siembra.

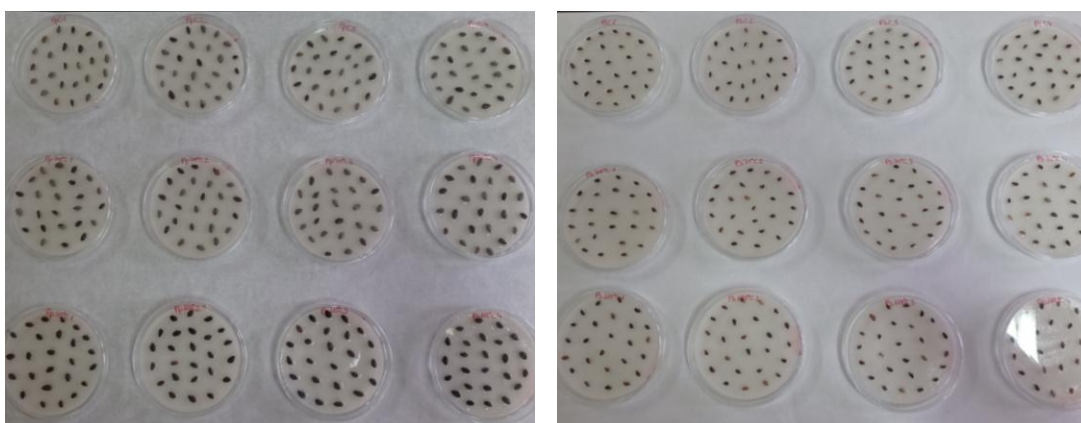


Figura 4. Disposición de semillas de *P. pinaster* y *P. sylvestris* sometidas a diferentes tratamientos de temperatura en placas petri.

Tratamiento de datos

Los datos obtenidos sobre el número total de semillas germinadas de cada especie, así como los datos correspondientes a las medidas y ratio de longitud parte aérea/subterránea, fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) para la comprobación de la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos tratamientos y variables. La normalidad de los datos fue comprobada previamente mediante el test de Shapiro-Wilk. Con el fin de poner de manifiesto el efecto del sustrato en el crecimiento (longitud total, longitud de la parte aérea, longitud de la parte subterránea y relación entre ambas) de las plántulas de *P. pinaster*, se realizaron análisis de varianza de dos vías (tratamiento térmico y tipo de sustrato). Para comparar el efecto del calor en la germinación de las dos especies, se realizó otro análisis de varianza de dos vías (tratamiento térmico y especie). En los casos en los que se detectaron diferencias estadísticamente significativas se realizaron las comparaciones entre pares de tratamientos mediante el test de Tukey. Los resultados de estos análisis se incluyen en el Anexo 1. Para la realización de los mismos se utilizó el programa estadístico PAST4 (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Experimento de siembra en tiestos

De las dos especies de pino sólo se produjo la germinación de semillas de *P. pinaster*. De esta especie, partiendo de una muestra de 120 semillas, únicamente germinaron 16. De las germinadas, ninguna correspondía a las calentadas a 110°C, sólo germinaron las que fueron sometidas a los tratamientos control y 70°C (Fig. 5). No se aprecian diferencias claras entre los porcentajes totales de germinación entre el control y las tratadas a 70°C. Tampoco se aprecia un efecto claro del sustrato en la germinación. Señalar que no se ha podido hacer un análisis de la varianza con estas variables, ya que se disponía de un número de datos muy reducido con respecto al tamaño de la muestra.

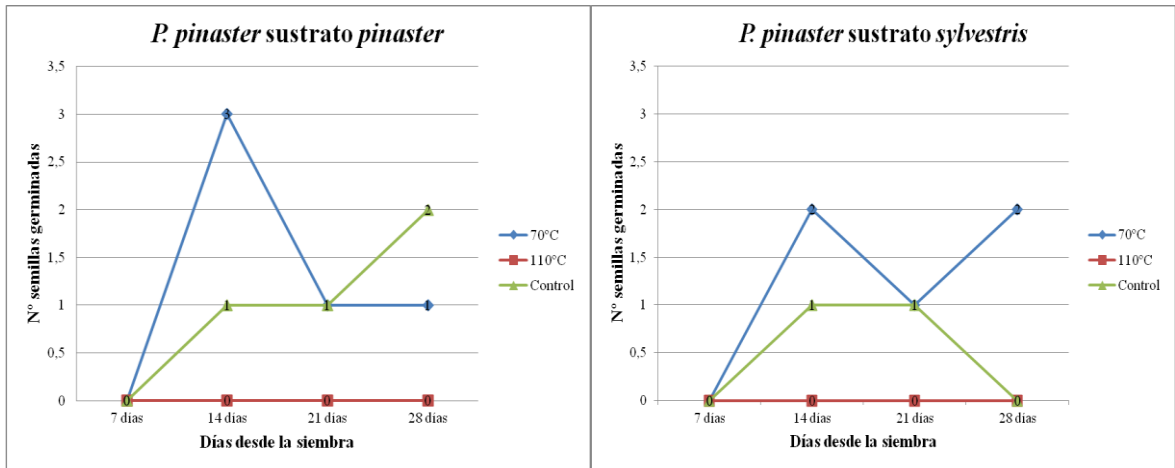


Figura 5. Número total de semillas germinadas de *P. pinaster* en sustrato *pinaster* y en sustrato *sylvestris* en función del tratamiento (control, 70°C y 110°C) a lo largo del tiempo.

La representación del porcentaje de semillas germinadas con respecto al tratamiento de choque térmico, aporta una visión más clara de la situación expuesta en el párrafo anterior (Fig. 6). Solamente se observa una ligera diferencia entre la germinación de semillas sometidas a tratamiento control en sustrato de *P. pinaster* y en sustrato de *P. sylvestris* (un 20% más de germinación en sustrato de *P. pinaster* con respecto al sustrato de *P. sylvestris*).

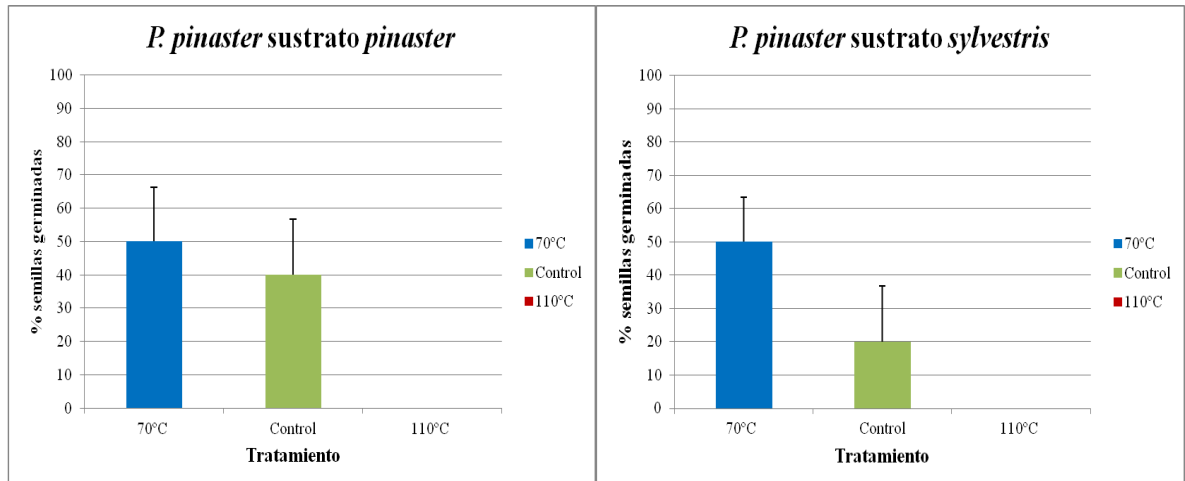


Figura 6. Porcentaje medio y error estándar de semillas germinadas de *P. pinaster* en sustrato *pinaster* y en sustrato *sylvestris* en función del tratamiento aplicado (control, 70°C y 110°C).

La longitud de la parte aérea de las plántulas de *P. pinaster* se mantiene en valores similares independientemente del tratamiento e incluso del tipo de sustrato (Fig. 7). No se observan diferencias significativas (Anexo 1).

Donde sí podemos observar una pequeña diferencia es en la longitud de la parte subterránea en el tratamiento control en sustrato de *P. pinaster* con respecto al tratamiento control en sustrato de *P. sylvestris*. (Anexo 1).

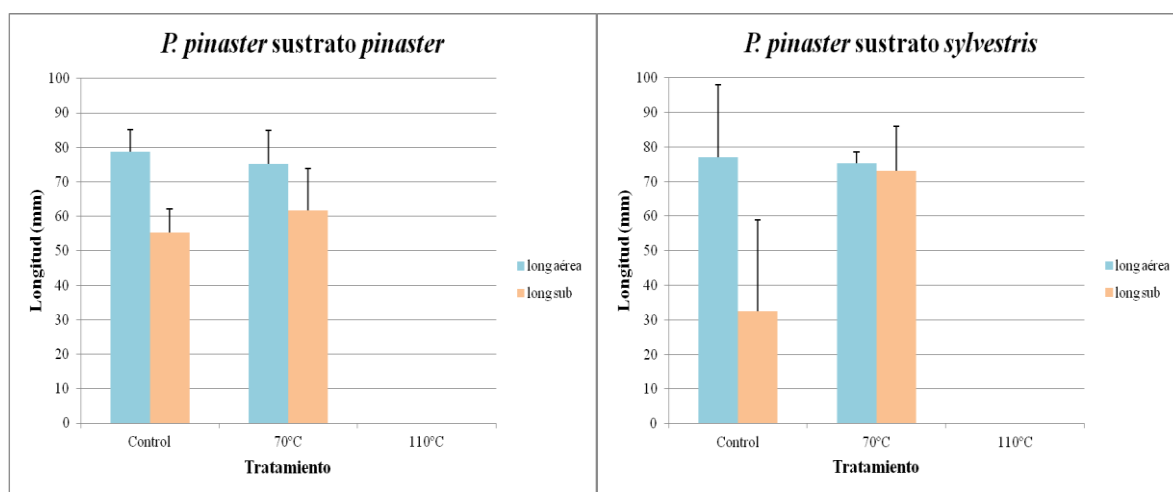


Figura 7. Valor medio y error estándar de la longitud aérea y subterránea de plántulas de *P. pinaster* en función del tratamiento (control, 70°C y 110°C) en sustrato *pinaster* y en sustrato *sylvestris*.

Por otra parte, cuando se estudia la relación entre la longitud de la parte aérea y la parte subterránea de las plántulas de *P. pinaster* (Tabla 1), se observa que esta relación es mayor en los tratamientos control que en los tratamientos de 70°C: Esto es independiente del tipo de sustrato, pero es especialmente notable el valor promedio correspondiente al tratamiento control en sustrato de *P. sylvestris*. El análisis de varianza confirma que existen diferencias significativas ($p=0,03069$) con respecto a la interacción entre factores (Anexo 1). El test de Tukey demuestra que existen diferencias significativas para el tratamiento control entre el sustrato *P. pinaster* y el sustrato *P. sylvestris* ($p=0,02967$) y también entre el sustrato *P. sylvestris* tratamiento 70°C y el sustrato *P. sylvestris* tratamiento control ($p=0,01524$).

Tabla 1. Ratio Relación longitud parte aérea/parte subterránea (valores medios y desviación estándar) de *P. pinaster* en función del tipo de sustrato y tratamiento al finalizar el experimento.

Tipo sustrato	Tratamiento	Promedio longitud A/S	Desviación estándar
<i>P. pinaster</i>	Control	1,45	0,13
	70°C	1,35	0,45
<i>P. sylvestris</i>	Control	5,50	5,42
	70°C	1,19	0,58

Experimento de siembra en placas

El número de semillas germinadas es mayor en el caso de *P. pinaster* que en el caso de *P. sylvestris*. En ambos casos no se produce germinación en aquellas semillas sometidas al tratamiento de 110°C (Fig. 8). Se observa que en los primeros 7 días tras la siembra es donde se produce el mayor pico de germinación en ambas especies, disminuyendo este con el paso de los días. Sin embargo, en *P. pinaster* las germinaciones siguen siendo importantes en la semana siguiente, mientras que en *P. sylvestris* son prácticamente nulas.

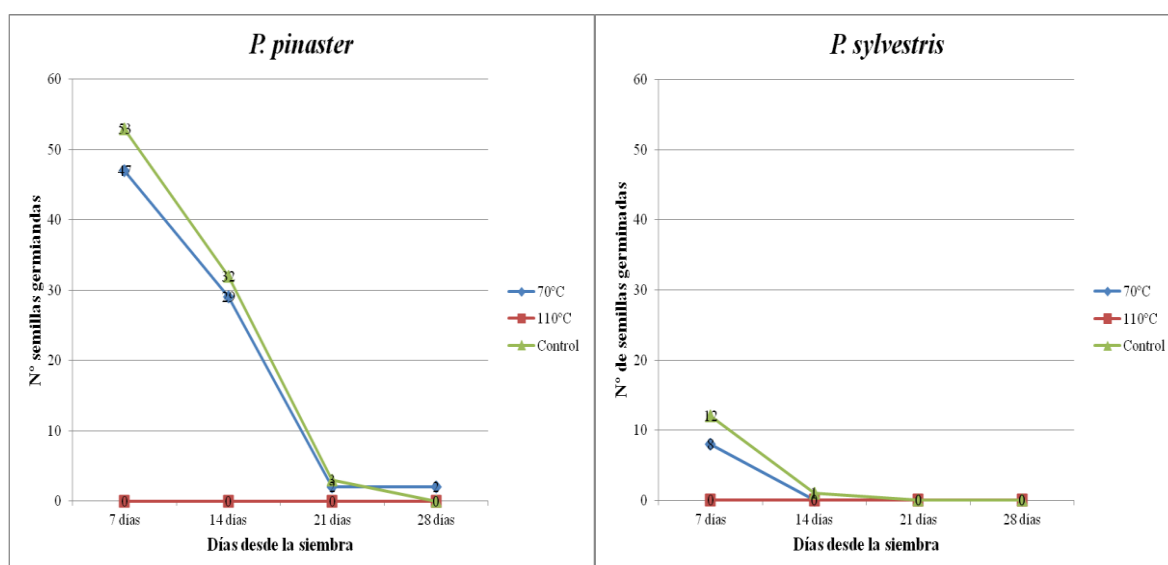


Figura 8. Número total de semillas germinadas de *P. pinaster* y *P. sylvestris* en función del tratamiento (control, 70°C y 110°C) a lo largo del tiempo.

Cuando se compara el valor total de germinación, expresado como porcentaje (Fig. 9), se observa que el porcentaje de germinación es mucho mayor en el caso de *P. pinaster* (entre un 80 y un 90%) que en el caso de *P. sylvestris* (entre 8 y 12%). El análisis de varianza muestra diferencias significativas entre ambas especies ($p=1,442E-10$), y al hacer las comparaciones entre pares mediante el test de Tukey, se confirma que las diferencias son estadísticamente significativas, tanto en el tratamiento de calor a 70°C ($p=2,758E-08$) como en el control ($p=1,732E-08$) (Anexo 1). El porcentaje de germinación es ligeramente mayor en las semillas sometidas a tratamiento control que el de las sometidas al tratamiento de 70°C, en ambas especies, pero las diferencias no son estadísticamente significativas ($p=0,1032$).

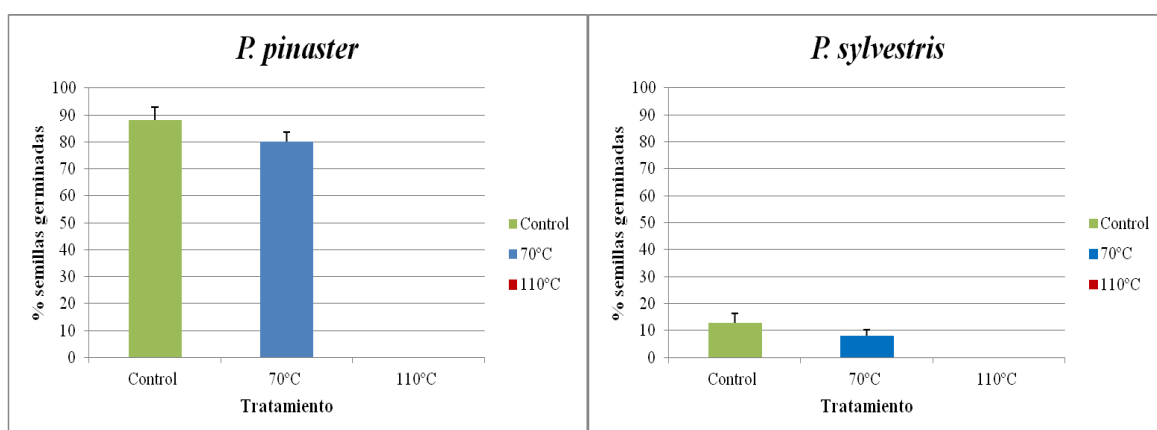


Figura 9. Porcentaje medio y error estándar de semillas germinadas de *P. pinaster* y *P. sylvestris* en función del tratamiento (control, 70°C y 110°C).

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el experimento de germinación en placas, se observa una notable diferencia entre ambas especies en cuanto a su porcentaje final de germinación. La especie *P. pinaster* ha mostrado un elevado porcentaje de semillas germinadas tanto en condiciones control como a 70°C. Los porcentajes de germinación que se encuentran en *P. pinaster* coinciden con los señalados por Ribeiro et al., (2022). Por el contrario, *P. sylvestris* muestra un porcentaje de semillas germinadas muy reducido en ambos casos. En ninguna de las especies el calor actúa como estimulante de la germinación, y en el caso de temperaturas de 110°C la germinación se inhibe completamente. En este estudio no se han encontrado diferencias significativas en la respuesta al calor entre las dos especies estudiadas. Las temperaturas elevadas (110°C durante 5 minutos) impiden la germinación, pero temperaturas moderadas (70°C), no producen un efecto positivo, con una

tasa de germinación similar a la de semillas control no calentadas. Esto no coincide con lo observado por otros autores, como Álvarez *et al.*, (2007), que demuestran que *P. pinaster* tolera mejor las altas temperaturas que *P. sylvestris*. En su estudio también se aprecia un mayor porcentaje de germinación de semillas de *P. pinaster* que de *P. sylvestris* en general independientemente del tratamiento. Esto se puede explicar en función del tamaño de las semillas de *P. pinaster* que es mayor que las de *P. sylvestris*. El mayor tamaño de las semillas de *P. pinaster* supone una ventaja en la supervivencia de estas, ya que se produce un mayor aislamiento embrionario (Escudero, *et al.*, 2000; Álvarez, *et al.*, 2007). También autores como Kandya y Ogino, (1986) y Reyes y Casal, (2001) han llevado a cabo estudios que reflejaban que existía esta relación entre el tamaño de la semilla y el porcentaje germinación. El hecho de que se dé un mayor porcentaje de germinación en semillas *P. pinaster* puede deberse también a la protección que ejerce la cubierta de la semilla, que presenta una notable dureza y actúa de barrera frente a las altas temperaturas (Álvarez, *et al.*, 2007).

La buena regeneración que presenta *P. pinaster* tras sufrir un incendio tiene explicación gracias a su tolerancia a las altas temperaturas (Rodrigo, *et al.*, 2004; Álvarez, *et al.*, 2007). En cuanto a *P. sylvestris*, Núñez y Calvo (2000) apreciaron en su estudio el efecto negativo que suponían las altas temperaturas sobre las semillas de esta especie, ya que al no tener conos serotinosos como en el caso de *P. pinaster*, *P. sylvestris* muestra una baja resistencia al fuego (Habrouk, *et al.*, 1999; Álvarez, *et al.*, 2007). Sin embargo, en el presente estudio encontramos una tasa de germinación muy baja tanto en el tratamiento a 70°C como en el tratamiento control en el caso de *P. sylvestris*.

En cuanto al experimento en tiestos no se han podido comparar estadísticamente ambas especies ya que sólo se obtuvo germinación de *P. pinaster*, y en una proporción mucho menor que la observada en placas petri (una media del 50% en el mejor de los casos, frente a más del 80% en placas). El hecho de no obtener ninguna germinación de *P. sylvestris* es consistente con su menor tasa de germinación en placas (entre un 12 y un 8%). Si la germinación se reduce cuando se estudia en tierra, la ausencia de plántulas es fácilmente explicable por un efecto aleatorio, al trabajar solo con 10 réplicas.

En el caso de *P. pinaster* no se han encontrado diferencias significativas que indiquen que el tipo de sustrato afecte a la germinación. Sin embargo, sí se ha observado una influencia en la relación longitud aérea/subterránea. Estudios como los llevados a cabo por Taboada *et al.*,

(2017) sobre diferentes especies arbustivas frente a los efectos del fuego explican las posibles diferencias en esta relación. Las especies germinadoras obligatorias tras el incendio presentaron efectos positivos sobre el crecimiento de las plántulas y negativos sobre la biomasa de sus raíces. Tras un incendio suelos pobres pasan a presentar una mayor disponibilidad de recursos. De esta manera, el hecho de que pueda establecerse una competencia subterránea por agua y nutrientes en las primeras etapas del establecimiento de plántulas después de un incendio explica una menor proporción de raíces. De la misma manera una mayor longitud aérea responde a una elongación como respuesta a la sombra y a la competencia que se pueda establecer entre las plantas por la luz.

CONCLUSIONES

En general, las semillas de *P. pinaster* muestran un mayor porcentaje de germinación que las de *P. sylvestris* independientemente del tratamiento al que se han sometido. Además, la germinación de las semillas de *P. pinaster* se prolonga durante más tiempo que en el caso de *P. sylvestris*.

Tanto las semillas de *P. pinaster* como de *P. sylvestris* no soportan choques térmicos elevados, iguales o superiores a 110°C durante 5 minutos. Ambas especies germinan al ser sometidas a temperaturas más moderadas (70°C), no mostrando en este caso diferencias significativas respecto a las semillas control no calentadas.

La germinación de semillas de *P. pinaster* no se ve afectada por el tipo de sustrato sobre el que se establecen, si bien, *P. sylvestris* no germina en ningún tipo de sustrato.

El efecto de los choques térmicos sobre el crecimiento de las plántulas se manifiesta en la relación de la longitud de las partes aérea y subterránea en las plántulas de *P. pinaster*. La proporción de raíces es significativamente menor en situación control cuando crece sobre sustrato de *P. sylvestris*.

REFERENCIAS

- Anderson, J. (2004) “El estrés por altas temperaturas en las plantas”, en Reigosa, M. J., Pedrol, N. y Sánchez, A. (ed.) *La Ecofisiología Vegetal*. Madrid: Thomson-Paraninfo, pp. 223-252.
- Álvarez, R., Valbuena, L. y Calvo, L. (2007) “Effect of high temperatures on seed germination and seedling survival in three pine species (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris* and *P. nigra*)”. *International Journal of Wildland Fire*, 16, pp. 63-70.
- Bond, W. y Keeley, J. E. (2005) “Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems”. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), pp. 387–394.
- Calvo, L., Hernández, V., Valbuena, L. y Taboada, A. (2015) “Provenance and seed mass determine seed tolerance to high temperatures associated to forest fires in *Pinus pinaster*”. *Annals of Forest Science*, 73, pp. 381-391.
- Cruz, O., García-Duro, J., Casal, M. y Reyes, O. (2019) “Role of serotiny on *Pinus pinaster* Aiton germination and its relation to mother plant age and fire severity”. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 12, pp. 491-497.
- Daskalidou, E. N. y Thanos, C. A. (1996) “Aleppo pine (*Pinus halepensis*) post-fire regeneration: the role of canopy and soil seed banks”. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 59-66.
- Escudero, A., Nuñez, Y. y Perez-García, F. (2000) “Is fire a selective force of seed size in pine species?”. *Acta Oecologica*, 21, pp. 245-256.
- Espinosa, J., Madrigal, J., De La Cruz, A. C., Guijarro, M. *et al.* (2018) “Short-term effects of prescribed burning on litterfall biomass in mixed stands of *Pinus nigra* and *Pinus pinaster* and pure stands of *Pinus nigra* in the Cuenca Mountains (Central-Eastern Spain)”. *Science of the total Environment*, 618, pp. 941-951.
- González De Vega, S., De Las Heras, J., y Moya, D. (2016) “Resilience of Mediterranean terrestrial ecosystems and fire severity in semiarid areas: Responses of Aleppo pine forests in the short, mid and long term”. *Science of the Total Environment*, 573, pp. 1171-1177.
- Habrouk, A., Retana, J. y Espelta, J. M. (1999) “Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires”. *Plant Ecology*, 145, pp. 91-99.
- Hanley, M. E. y Fenner, M. (1998) “Pre-germination temperature and the survivorship and onward growth of Mediterranean fire-following plant species”. *Acta Oecologica*, 19, pp. 181-187.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001) *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. (Versión 4.04) [Programa de ordenador]* Disponible en: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/> (Accedido: 5 de abril de 2022).
- Kandya, A. K. y Ogino, K. (1986) “Reserve dry weight of seed: a significant factor governing the germination potential of seeds in some conifers”. *Journal of Tropical Forestry*, 2, pp. 21-26.
- Keeley, J. E. (2012) “Ecology and evolution of pine life histories”. *Annals of Forest Science*, 69, pp. 445-453.
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J. *et al.* (2011) “Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits”. *Trends in Plant Science*, 16, pp. 406-11.
- Keeley, J. E. y Zedler, P. H. (1978) “Reproduction of chaparral shrubs after fire: a comparison of sprouting and seeding strategies”. *American Midland Naturalist*, 99, pp. 142-161.
- Lanner, R. M. (1998) “Seed dispersal in *Pinus*”, en Richardson, D. M. (ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 281-295.
- Lloret, F., Retana, J. y Espelta, J. M. (1996) “Efectes dels focs i mecanismes de regeneració de les plantes”, en Terradas, J. (ed.) *Ecologia del Foc*. Barcelona: Ediciones Proa, pp. 141-156.

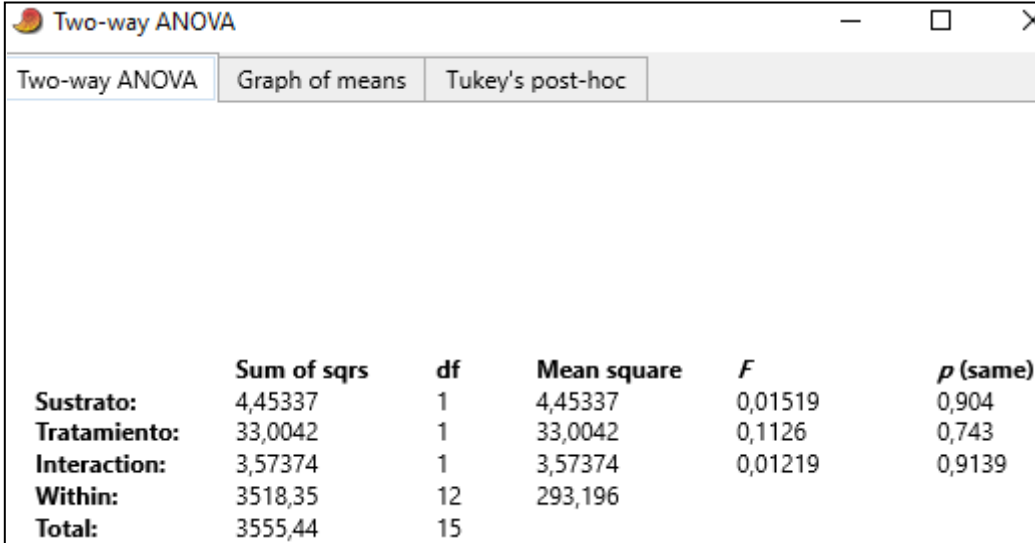
- Martínez-Sánchez, J. J., Marín, A., Herranz, J. M., Ferrandis, P. *et al.* (1995) "Effects of high temperatures on germination of *Pinus halepensis* Mill. and *P. pinaster* Aiton subsp. *pinaster* seeds in southeast Spain". *Vegetatio*, 116, pp. 69-72.
- Moreira, B., Tormo, J., Estrelles, E. y Pausas J. G. (2010). "Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora". *Annals of Botany*, 105, pp. 627-635.
- Moreno, J. M. y Cruz, A. (2000) "La respuesta de las plantas al fuego". En Vélez, R. (ed.) *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Madrid: Mc Graw Hill, pp. 413-436
- Ne'eman, G., Arianoutsou, M. (2021). "Mediterranean Pines - Adaptations to Fire", en Ne'eman, G. y Osem, Y. (eds.) *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. Suiza: Springer, Cham, pp. 457-480.
- Núñez, M. R. y Calvo, L. (2000) "Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*". *Forest Ecology and Management*, 131, pp. 183-190.
- Pausas, J. G. (2010) "Fuego en el Mediterráneo". *Investigación y Ciencia*, 407, pp. 56-63.
- Pausas, J. G. y Keeley, J. E. (2014) "Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems". *New Phytologist*, 204, pp. 55-65.
- Reyes, O. y Casal, M. (1995) "Germination behaviour of 3 species of the genus *Pinus* in relation to high temperatures suffered during forest fires". *Annales des Sciences Forestières*, 52, pp. 385-392.
- Reyes, O. y Casal, M. (2001) "The influence of seed age on germinative response to the effects of fire in *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Eucalyptus globule*". *Annals of Science*, 58, pp. 439-447.
- Reyes, O. y Casal, M. (2004) "Effects of forest fire ash on germination and early growth of four *Pinus* species". *Plant Ecology*, 175, pp. 81-89.
- Ribeiro, S., Cerveira, A., Soares, P. y Fonseca, T. (2022) "Regeneration of Maritime Pine: A Review of the Influencing Factors and Proposals for Management". *Forests*, 13(3): 386.
- Rodrigo, A., Retana, J. y Picó, X. (2004) "Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires". *Ecology*, 85, pp. 716-729.
- St Pierre, H., Gagnon, R. y Bellefleur, P. (1992) "Régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Québec". *Canadian Journal of Forest Research*, 22, pp. 474-481.
- Taboada, A., Tárrega, R., Marcos, E., Valbuena, L. *et al.* (2017) "Fire recurrence and emergency post-fire management influence seedling recruitment and growth by altering plant interactions in fire-prone ecosystems". *Forest Ecology and Management*, 402, pp. 63-75.
- Torres Carretero, O. (2002) *Regeneración y banco de semillas de Pinus pinaster después de un gran incendio en la Sierra del Teleno (León)*. Memoria de Licenciatura. Universidad de León.
- Valbuena, L. y Trabaud, L. (1993) "Estudio del banco de semillas de una repoblación de *Pinus radiata* incendiada". *Studia Oecologica*, X-XI, pp. 359-365.

ANEXO 1

Resultados de las diferentes pruebas estadísticas realizadas sobre los datos recogidos: análisis de varianza de dos vías (ANOVA) y test de Tukey.

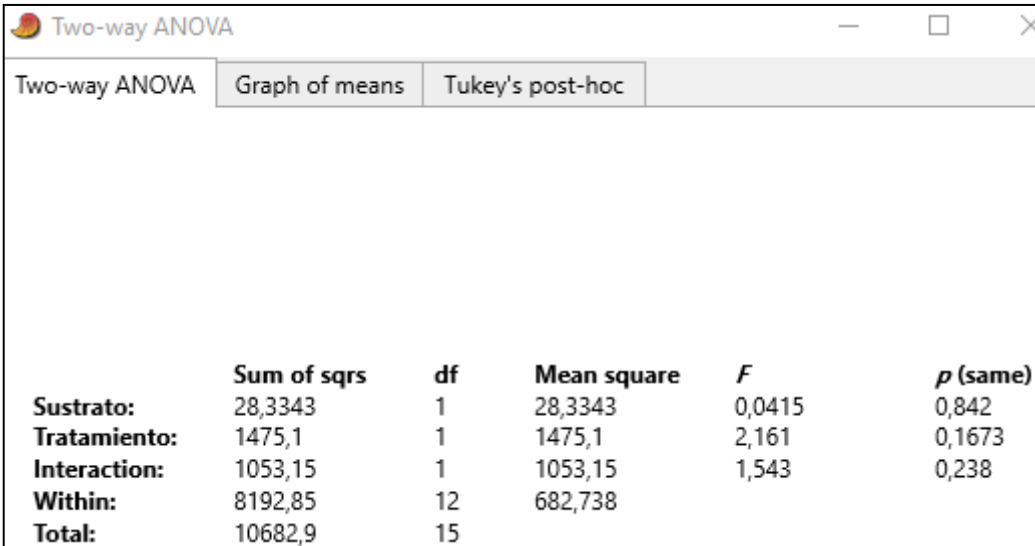
Resultados de pruebas estadísticas para el experimento en tiestos.

Anova de dos vías longitud parte subterránea:



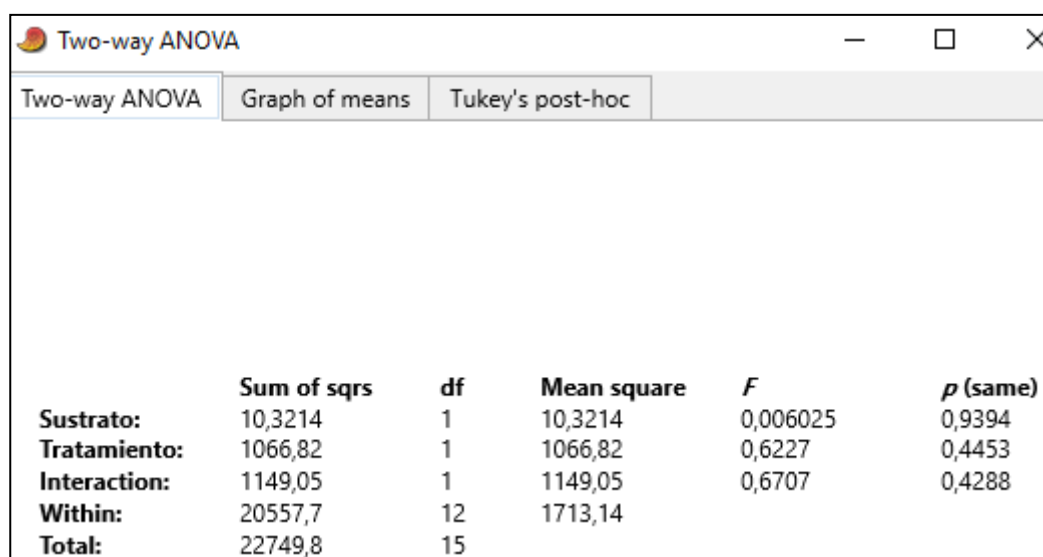
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Sustrato:	4,45337	1	4,45337	0,01519	0,904
Tratamiento:	33,0042	1	33,0042	0,1126	0,743
Interaction:	3,57374	1	3,57374	0,01219	0,9139
Within:	3518,35	12	293,196		
Total:	3555,44	15			

Anova de dos vías longitud parte aérea:



	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Sustrato:	28,3343	1	28,3343	0,0415	0,842
Tratamiento:	1475,1	1	1475,1	2,161	0,1673
Interaction:	1053,15	1	1053,15	1,543	0,238
Within:	8192,85	12	682,738		
Total:	10682,9	15			

Anova de dos vías longitud total:

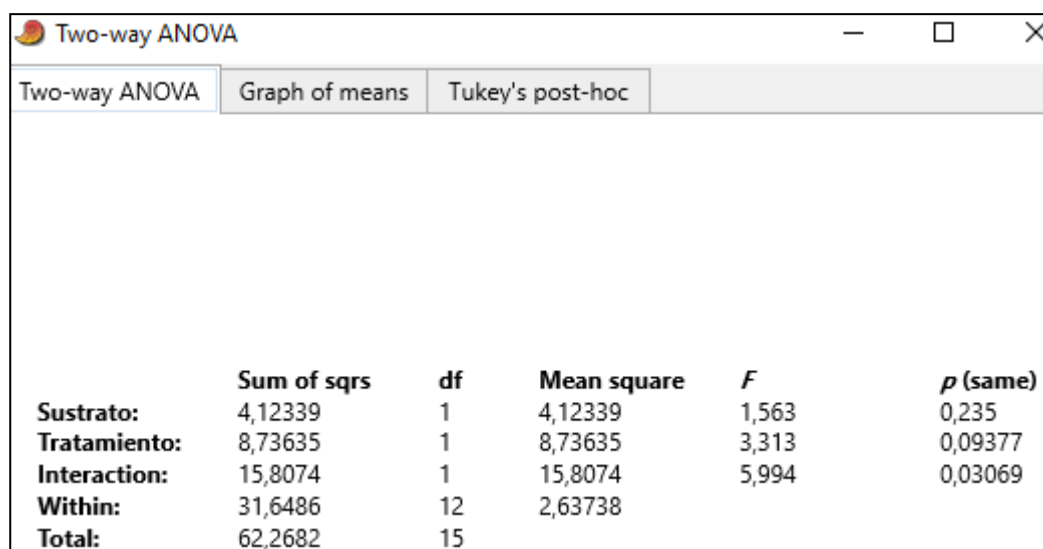


Two-way ANOVA

Two-way ANOVA | Graph of means | Tukey's post-hoc

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Sustrato:	10,3214	1	10,3214	0,006025	0,9394
Tratamiento:	1066,82	1	1066,82	0,6227	0,4453
Interaction:	1149,05	1	1149,05	0,6707	0,4288
Within:	20557,7	12	1713,14		
Total:	22749,8	15			

Anova de dos vías relación longitud aérea/subterránea:



Two-way ANOVA

Two-way ANOVA | Graph of means | Tukey's post-hoc

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Sustrato:	4,12339	1	4,12339	1,563	0,235
Tratamiento:	8,73635	1	8,73635	3,313	0,09377
Interaction:	15,8074	1	15,8074	5,994	0,03069
Within:	31,6486	12	2,63738		
Total:	62,2682	15			

Test de Tukey (sombreados los valores de p estadísticamente significativos):

Two-way ANOVA			
Two-way ANOVA		Graph of means	Tukey's post-hoc
Interactions			
		Q	p
P. pinaster-70°C	P. pinaster-Contro	0,125	0,9957
P. pinaster-70°C	P. sylvestris-70°C	0,2258	0,9861
P. pinaster-Contro	P. sylvestris-Contr	4,189	0,02967
P. sylvestris-70°C	P. sylvestris-Contr	4,714	0,01524

Resultados de pruebas estadísticas para el experimento en placas.

Anova de dos vías germinación:

Two-way ANOVA					
Two-way ANOVA		Graph of means	Tukey's post-hoc		
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Especie de pino:	1350,56	1	1350,56	397,7	1,442E-10
Tratamiento:	10,5625	1	10,5625	3,11	0,1032
Interaction:	0,5625	1	0,5625	0,1656	0,6912
Within:	40,75	12	3,39583		
Total:	1402,44	15			

Test de Tukey (sombreados los valores de p estadísticamente significativos):

Two-way ANOVA			
Two-way ANOVA		Graph of means	Tukey's post-hoc
Interactions			
		Q	p
P. pinaster-70°C	P. pinaster-Contro	2,171	0,3101
P. pinaster-70°C	P. sylvestris-70°C	19,54	2,758E-08
P. pinaster-Contro	P. sylvestris-Contr	20,35	1,732E-08
P. sylvestris-70°C	P. sylvestris-Contr	1,357	0,615