

_Mejoramiento de la germinación de semillas de especies forestales mediterráneas

Estudios de laboratorio para construir una metodología de siembra directa forestal



Semillistas a.c.



octubre 2025



Mejoramiento de la germinación de semillas de especies forestales mediterráneas: Estudios de laboratorio para construir una metodología de siembra directa forestal © 2025 by Asociación Semillistas is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Financiado por:



Índice

1. Introducción.....	4
1.1. Presentación y contenido.....	4
1.2. Justificación.....	5
1.3. Enfoque.....	6
1.4. Replicación.....	6
2. Abreviaturas.....	8
3. Conceptos previos.....	9
3.1. Qué es: Germinación.....	9
3.2. Qué es: Emergencia.....	9
3.3. Qué es: Supervivencia.....	10
3.4. Qué es: Siembra directa.....	10
3.5. Qué es: Lote.....	12
3.6. Qué es: Cámaras de germinación.....	12
3.7. Qué es: Contenido de humedad.....	13
3.8. Qué es: Almacenamiento de semillas.....	14
3.9. Qué es: Curva de hidratación y fases de la germinación.....	15
3.10. Qué es: Germinación clásica.....	16
3.11. Qué es: mejora del lote.....	17
3.12. Qué es: Tratamientos de priming.....	18
3.13. Qué es: Latencia de semillas.....	21
3.14. Qué es: Tratamientos pregerminativos.....	23
4. Metodología empleada.....	25
4.1. Germinación clásica y pruebas de germinación.....	25
4.2. Mejora del lote.....	26
4.3. Obtención de los tratamientos óptimos de priming.....	27
4.4. Los tratamientos pregerminativos.....	29
4.5. Escarificación.....	30
4.6. Curva de hidratación.....	30
4.7. Contenido de humedad.....	31
4.8. Pruebas de germinación a temperaturas subóptimas.....	31
5. Fichas sobre la investigación de cada especie.....	33
PINUS HALEPENSIS.....	36
PINUS NIGRA SALZMANNII.....	42
CERATONIA SILIQUA.....	49
TETRACLINIS ARTICULATA.....	55
RHAMNUS ALATERNUS.....	62
RHAMNUS LYCIOIDES.....	68
PISTACIA LENTISCUS.....	73
RETAMA SPHAEROCARPA.....	80
GENISTA UMBELLATA.....	87
QUERCUS ILEX.....	91
6. Bibliografía.....	94

1. Introducción

1.1. Presentación y contenido

El presente estudio, realizado en 2025, pretende mostrar la investigación de la Asociación Semillistas respecto al mejoramiento de la germinación de las semillas de 10 especies forestales utilizadas comúnmente en las restauraciones en el ámbito mediterráneo. Para ello se mostrarán datos de los estudios en laboratorio, así como las metodologías empleadas, utilizando un lenguaje que sea accesible a personas que se dedican a la restauración forestal, pero que no necesariamente tienen estudios superiores especializados. Hemos hecho nuestro mayor esfuerzo para hacer accesible el conocimiento expuesto en este documento, aún así es necesario tener un conocimiento mínimo en ciencias para entender lo que se pretende decir, por ejemplo: saber usar fórmulas, leer un gráfico X-Y, calcular porcentajes, etc.

Las especies que se han estudiado son:

- *Pinus halepensis* (pino carrasco)
- *Pinus nigra salzmannii* (pino laricio)
- *Ceratonia siliqua* (algarrobo)
- *Tetraclinis articulata* (ciprés de cartagena)
- *Rhamnus alaternus* (aladierno)
- *Rhamnus lycioides* (espino negro)
- *Pistacia lentiscus* (lentisco)
- *Retama sphaerocarpa* (retama)
- *Genista umbellata* (bolina)
- *Quercus ilex* (encina)

Todas las especies son autóctonas de nuestro territorio, el sureste ibérico, y propias del clima mediterráneo.

El estudio comprende para cada especie:

- el entendimiento de la germinación clásica, esto es, la germinación que tradicionalmente se utiliza en viveros forestales y de la cual es posible encontrar información en libros y manuales de semillas forestales.
- la mejora del lote, es decir, el uso de técnicas para eliminar semillas que no germinan y que disminuyen el porcentaje de germinación del lote.
- los tratamientos de priming óptimos para el mejoramiento de la germinación.
- la comparación de la germinación de las semillas con/sin tratamientos de priming a temperaturas subóptimas, esto es, las que se espera tener en campo cuando se realiza la siembra directa.
- la obtención de información de cómo afectan diversos métodos de pregerminación previos a la siembra en condiciones de temperaturas subóptimas.

1.2. Justificación

La razón que ha llevado a Semillistas a realizar esta labor de investigación es poder obtener una metodología de trabajo que permita la siembra directa de semillas en zonas forestales con garantías de éxito, en ambientes mediterráneos. Es sabido que la siembra directa no se practica en casi ningún lugar del mundo debido a la imprevisibilidad de los resultados. Hasta ahora no era posible solventar los dos grandes inconvenientes de la siembra directa: incertidumbre en el número de germinaciones en campo y la predación de semillas. Por ello, la metodología más usada en todo el mundo es el trasplante de árboles previamente desarrollados en vivero. La necesidad de restaurar miles de millones de hectáreas está empujando a la búsqueda de soluciones más económicas y escalables. En nuestro caso, el hecho de encontrarnos en ambientes mediterráneos, con veranos largos, secos y calurosos, hace que las prácticas de trasplantar árboles requieran una energía enorme, sobre todo en lo que a riegos estivales se refiere. Eso nos ha llevado a buscar alternativas al trasplante en la siembra directa.

Semillistas quiso explorar la vía de encontrar soluciones imitando los procesos de regeneración natural, para que la raíz de los árboles pudiera desarrollarse de manera natural y así ser nosotros simplemente “pajaritos” que dispersan semillas, sin cuidar posteriormente los árboles que nacen. El camino para lograr tener garantías en la siembra directa ha sido posible gracias a dos aspectos:

1. el desarrollo académico de la biotecnología de semillas, lo que se conoce como “seed enhancement technologies”. Con este conocimiento obtenemos una comprensión profunda de los procesos de germinación forestal, así como las mejoras posibles.
2. el desarrollo del vínculo con nuestros propios montes, para mejorar nuestra comprensión de los procesos de regeneración natural a partir de la observación y el conocimiento académico, y así poder diseñar una metodología de siembra que utilice tecnología de semillas adaptada a nuestro ecosistema.

El primer aspecto ha sido desarrollado por la industria agrícola para hacer frente a necesidades del mercado capitalista dentro del contexto de cambio climático. Sólo un puñado de académicos de todo el mundo se ha dedicado a hacer una transferencia de este conocimiento al ámbito forestal, con la dificultad de que gran parte de él permanece secreto en las grandes corporaciones agroalimentarias.

El segundo aspecto fue desarrollado por Masanobu Fukuoka, desde la filosofía que observa las limitaciones de la mente humana y trata de orientar sus acciones desde el amor y el respeto por cómo lo hace la naturaleza.

Este documento únicamente abordará el primer aspecto (seed enhancement), ya que sin este conocimiento no es posible tener los ojos entrenados para saber dónde mirar en la infinitud de detalles de los que se compone la naturaleza.

1.3. Enfoque

Los estudios que se muestran en el documento se realizaron en el SeedLab de Semillistas, ubicado en la localidad de La Tahá, en la Alpujarra granadina. Se trata de un laboratorio open-source, replicable y diseñado tanto para el desarrollo científico como para cubrir las necesidades de un proyecto de restauración forestal basado en la siembra directa de semillas. Actualmente contamos con 8 cámaras de germinación, un horno de precisión, una peletizadora basada en hormigonera y básculas de precisión 0,1 mg y 0,01 g, etc.

El objetivo de Semillistas no es realizar una investigación académica “ortodoxa”, sino más bien realizar estudios de ciencia aplicada al problema concreto de búsqueda de soluciones para la siembra directa forestal. Esto nos ha llevado a diseñar los experimentos de manera que obtengamos datos de las especies estudiadas que nos den información suficiente para realizar las siembras en campo con garantías de éxito, en contraposición al trabajo académico de obtención de datos con garantía estadística. El motivo de esta decisión es, por un lado, reducir los costes de los estudios (reduciendo el número de réplicas de cada ensayo) y, por otro lado, ganar tiempo para poder abarcar la ingente cantidad de ensayos que ha sido necesario realizar para adaptar el conocimiento de la tecnología de semillas a nuestro ecosistema.

1.4. Replicación

El proyecto, dentro de Semillistas, encargado de la transferencia del conocimiento que vamos generando se llama SeedToSeed (S2S). Nuestro enfoque es de ciencia abierta, sin pretender mantener en secreto nuestros aprendizajes, para poder nutrir el impulso de regeneración forestal actual. Los destinatarios que buscamos para transmitir este conocimiento son organizaciones que en cada rincón del planeta trabajan para regenerar sus propios montes. Creemos que son estas organizaciones, que están vinculadas con su territorio y aman sus montes, las que realmente pueden realizar una labor fiable, coherente y perdurable de regeneración de su territorio.

Desde S2S realizamos formaciones a organizaciones que quieran explorar el cambio de paradigma desde los métodos de plantación hacia la siembra directa. Este cambio de paradigma es un cambio profundo. No es sencillo cambiar una manera de hacer en la que todo el planeta está inmerso. Como decía Masanobu Fukuoka, no se puede realizar un cambio en un proceso dentro de un sistema complejo sin afectar al sistema entero, ya que todos los procesos están relacionados. Para cambiar el método de establecimiento de plántulas en un proyecto de restauración, debemos cambiar la mirada y la forma de actuar con los otros elementos del sistema. Es por ello que nos tomamos un tiempo largo para transmitir este conocimiento a otras organizaciones.

Diferenciamos dos tipos de formaciones:

- **Proyectos de laboratorio:** La entidad que recibe la formación pretende establecer un laboratorio en el seno de su organización y recibe la formación de todo el conocimiento necesario para estudiar sus especies, realizar tratamientos a las semillas y adaptar la metodología a su ecosistema. Estos proyectos pueden estudiar y realizar tratamientos a varios proyectos sembradores.

- **Proyectos sembradores:** La entidad que recibe la formación aprende a utilizar las semillas que ha recibido tratamientos por un proyecto de laboratorio, y se les acompaña en la adaptación de la metodología a su ecosistema. El paquete de información transmitida es mucho menor que en los proyectos de laboratorio.

El presente documento está pensado, también, para facilitar estas formaciones. Por un lado, contiene información básica para introducirse al mundo de la semilla forestal. Por otro lado, contiene información de especies relevantes del ecosistema mediterráneo, para que sirva de referencia a los proyectos sembradores y les apoye en la toma de decisiones para el diseño de su plan de siembra.

2. Abreviaturas

%mc %moisture content; % del contenido de humedad.

%mcfw %moisture content fresh weight basis; % del cont. de hum. basado en peso fresco.

%mcdw %moisture content dry weight basis; % del cont. de hum. basado en peso seco.

SMP Solid Matrix Priming.

CMC Control Moisture Content.

TMC Target Moisture Content.

HP Hidropriming.

RA remojo aireado.

sec secado.

PEbd polietileno de baja densidad.

%HR % de humedad relativa del aire.

T0 tiempo al que ocurre la primera germinación.

T90 tiempo al que ocurre el 90% de la germinación máxima de la prueba de germinación.

PF peso fresco.

PS peso seco.

3. Conceptos previos

3.1. Qué es: Germinación

Llamamos germinación al momento en que la raíz aparece visible al romper la cubierta de la semilla. Llamamos proceso de germinación a los diferentes eventos que ocurren desde que empezamos a hidratar una semilla hasta que es visible su raíz. La germinación ocurre al final del proceso de germinación.

Cuando la raíz es visible, distinguimos varias fases:

- **G0:** La raíz empieza a alargarse pero es sólo una mínima protuberancia de longitud menor a medio milímetro. Más adelante veremos que este momento lo identificamos con el inicio de la FIII del proceso de germinación.
- **G1:** La raíz se alarga y se separa de la cubierta, con una longitud que ronda 1 mm.
- **G2:** Debido al geotropismo, la raíz se dirigirá hacia abajo en algún momento, formando un ángulo recto si la semilla se sembró horizontalmente. Normalmente este ángulo lo realiza en torno a los 2 mm de longitud, cuando ya se ha alargado un poco la raíz (tras G1).
- **GX:** La raíz se sigue alargando hacia abajo.

Hay muchos factores que afectan al proceso germinativo. Cada especie es sensible, de diferente forma, a cada uno de esos factores. Los factores más comunes son: la temperatura, la cantidad en suelo de humedad, de oxígeno, de luz, de nitrógeno, de sales, etc.

Además, las semillas emiten olores (compuestos orgánicos volátiles) durante el proceso germinativo, y más tarde en sus raíces. Estos volátiles están vinculados a los procesos químicos internos durante el proceso germinativo, pero de manera secundaria, y no menos importante, son atractores de microorganismos y fauna. Hongos saprófitos y ratones aprovechan el olor para acabar con la semilla. Hongos micorrícicos y bacterias son atraídos por el olor para formar simbiosis u otros tipos de intercambios.

3.2. Qué es: Emergencia

Llamamos emergencia a cuando la raíz, que se dirige hacia abajo, se “agarra” al suelo, y empiezan a emerger, desde la semilla, los cotiledones hacia arriba. Cuando los cotiledones sobrepasan la superficie del suelo, se abren y empiezan a realizar la fotosíntesis.

Hay semillas cuyos cotiledones están en estado rudimentario en el interior de la cubierta y cuando la raíz se “agarra” al suelo, estos cotiledones van hacia la superficie. En este caso la semilla desaparece, transformada en raíz hacia abajo y cotiledones hacia arriba. Este proceso se llama germinación epigea. Ejemplos de esta germinación son los tomates, lentejas, pino, lentisco, genistas, etc.

También ocurre, en otras especies, que los cotiledones del interior de la semilla permanecen en el suelo. Cuando la raíz ha profundizado lo suficiente, de la propia semilla, desde el mismo lugar en que sale la raíz de la cubierta, emerge un tallo hacia arriba. Este tallo tiene yemas que, cuando superen la superficie del suelo y reciban luz, se convertirán en las primeras hojas de la planta. Este proceso se llama germinación hipogea. Ejemplos de esta germinación son las bellotas, guisantes, etc. En este caso la semilla permanece unida a la planta (raíz + tallo) durante un tiempo y finalmente se desengancha y se descompone. Esto es importante en el caso de la bellota, ya que aunque veamos la planta creciendo, la bellota sigue activa bajo el suelo y está expuesta a la predación por ratones y/o jabalís.

En laboratorio normalmente observamos las germinaciones, y cuando realizamos siembras en campo lo que podemos observar es la emergencia. No todas las semillas que germinan logran emerger. Un valor de referencia sería: si en laboratorio obtenemos un porcentaje máximo de germinación del 90%, en campo observaremos una emergencia del 80%.

3.3. Qué es: Supervivencia

Una vez han emergido los cotiledones, la planta inicia su crecimiento. En condiciones ideales de humedad del suelo, temperatura y ausencia de fauna, la planta puede continuar su crecimiento. Pero la realidad es compleja y cada plantita se encuentra con diversos eventos que pueden comprometer su vida. Por eso hablamos de supervivencia.

Si la semilla germinó con una lluvia escasa y el suelo no está húmedo en profundidad, es muy probable que la plantita muera por falta de humedad en el suelo.

Si la semilla germinó en la primavera tardía, no estará suficientemente desarrollada para resistir el verano.

Cuando realizamos siembras en campo y les hacemos seguimiento:

- Llamamos “porcentaje de emergencia” al número de plantas que han emergido, medido sobre el número de semillas que se sembraron.
- Llamamos “porcentaje de supervivencia antes del primer verano” al número de plantas que han sobrevivido hasta el final de la primavera, medido sobre el número de semillas que se sembraron.
- Llamamos “porcentaje de supervivencia después del primer verano” al número de plantas que han sobrevivido a principios de otoño. Esto lo podemos medir en base al número de semillas sembradas o en base al número de plantas vivas antes del primer verano, en función de qué queramos observar.

3.4. Qué es: Siembra directa

En contraposición a las técnicas habituales de trasplante de árboles, los métodos de siembra directa se basan en colocar las semillas directamente en campo. Una de las razones de que en todo el mundo se utilicen prácticas de trasplante de árboles se debe a la imprevisibilidad de la siembra directa forestal. La falta de control sobre la germinación en

campo y los altos porcentajes de predación, hacen preferible la utilización de trasplante, a pesar del elevado coste económico que tienen en comparación con la siembra.

En Semillistas estamos logrando vencer los escollos de la siembra directa y garantizar la previsibilidad de resultados en el ambiente semiárido mediterráneo. Para ello, hemos tenido que cambiar de perspectiva, reubicarnos en otro paradigma y construir metodologías casi desde cero.

En la agricultura, la siembra directa se realiza en condiciones semicontroladas. Pero en la siembra forestal las condiciones en las cuales entregamos las semillas quedan en gran parte fuera de nuestro control. Con la metodología que empleamos en Semillistas, controlamos aquellos factores que podemos controlar y entregamos a la naturaleza el resto. Lo que podemos controlar es el porcentaje de emergencia en campo (control de germinación y predación) y la fecha de siembra (control de la humedad del suelo y control de la supervivencia después del primer verano).

La siembra directa tiene diversas técnicas posibles. Resumiendo podemos clasificarlas en:

- siembra enterrada. Las semillas se entierran a la profundidad adecuada.
- siembra aérea. Las semillas se dispersan sobre la superficie del suelo (con o sin pelleting).

La imprevisibilidad de la siembra aérea (hasta dónde las técnicas actuales alcanzan) nos llevó a explorar la siembra enterrada. En la siembra enterrada distinguimos dos tipos, a elegir en función de las características de nuestro ecosistema:

- siembra de semilla seca antes de las lluvias.
- siembra de semilla pregerminada inmediatamente después de las lluvias.

En nuestro clima, en el mediterráneo andaluz, las lluvias son imprevisibles. Pueden ocurrir a principios de otoño y estar todo el invierno y primavera lloviendo, o puede llover una única vez en otoño o invierno, o cualquier otro régimen. Además, no es posible tener certeza de la cantidad de lluvia que puede caer en cada fecha. Nos dimos cuenta de la importancia de esta imprevisibilidad de las lluvias como factor determinante en nuestra metodología de siembra, cuando un año sembramos miles de semillas a principios de octubre, para que se quedaran a la espera de las lluvias. Ese año no llovió hasta principios de marzo (5 meses después). Para entonces ratones e insectos habían consumido todas las semillas. En otra ocasión sembramos semillas secas antes de las lluvias y la primera lluvia fue suficiente para germinar las semillas, pero insuficiente para mantener las plantas vivas hasta la siguiente lluvia.

¿Cómo tener garantías de germinación y supervivencia si las lluvias son imprevisibles? La solución la encontramos en las técnicas agrícolas de siembra de cereal en secano. Los agricultores siembran trigo después de la lluvia suficiente. Para sembrar después de una lluvia, en Semillistas preparamos las semillas para que estén al borde de la germinación (pregerminación en laboratorio) en el momento en que se siembran en campo. Es por ello que en el presente estudio damos importancia tanto al priming como a los procesos pregerminativos.

3.5. Qué es: Lote

Llamamos lote a un conjunto de semillas de una misma especie, cosechadas en un mismo lugar (procedencia) el mismo año. A este lote le podríamos llamar “lote madre”. Para que el lote madre tenga suficiente diversidad genética para las actividades de regeneración forestal, debe cumplir una serie de requisitos. El más importante es que se deben cosechar al menos 50 pies (árboles/arbustos) separados al menos 50 metros entre ellos. Las empresas que venden semillas no proporcionan este dato.

Para un pequeño proyecto es inviable conseguir esa diversidad genética en un sólo año, pero con una buena logística, teniendo en cuenta que se realizan siembras en una misma zona durante muchos años, cada año pueden cosecharse semillas de diferentes lugares dentro de la misma procedencia e ir aumentando la diversidad genética poco a poco.

A pequeñas partes del lote madre, procedente directamente de la cosecha (tras la extracción, limpieza y almacenamiento) le realizamos pruebas de germinación, procesos de mejora de lote, tratamientos de priming, eliminación de latencias, etc.

Si queremos hacer un proceso de mejora del lote, para después hacer un proceso de priming y finalmente pruebas de germinación, se calcula las semillas necesarias para todo el proceso y extraemos del lote madre esa cantidad. Así el lote madre se almacena intacto de procesos hasta su utilización.

El lote contiene semillas vivas. Las características de viabilidad del lote varían con los años y dependen de la forma de almacenamiento, que afecta de forma diferente a cada especie.

3.6. Qué es: Cámaras de germinación

Para poder realizar pruebas de germinación y cualquier tipo de proceso (priming, pregerminación, etc) a temperaturas controladas, se requieren cámaras donde se garantice el control y la estabilidad de la temperatura. A estas cámaras las llamamos “cámaras de germinación”

Estas cámaras deben permitir mantener una temperatura constante (dentro de un margen de error) o la definición de temperaturas alternas (cada hora del día una temperatura). Así, podemos simular la temperatura en campo con una de estas cámaras.

Esta cámara es uno de los elementos indispensables en un laboratorio de semillas. El problema es que son caras (6.000€ aprox).

En Semillistas hemos desarrollado un prototipo de “cámara de germinación” open-source a partir de frigoríficos domésticos. Además de abaratar los costes, podemos adaptar las cámaras a las necesidades del laboratorio. Para finales de 2026 tendremos el “manual de montaje” publicado.

3.7. Qué es: Contenido de humedad

El contenido de humedad de un conjunto de semillas (o de una porción de suelo) es el porcentaje de agua presente en su interior. Por ejemplo, 10% de humedad, significa que en 100 g de semillas hay 10 g de agua y 90 g de materia seca (vamos a ir poco a poco definiéndolo mejor).

En el presente estudio definimos el porcentaje de humedad a partir del peso del agua y de la materia, en contraposición a hacerlo a partir del volumen.

Para las semillas, la definición del porcentaje de humedad es el basado en el peso fresco (PF) y para el cálculo de la humedad del suelo utilizamos el porcentaje de humedad basado en el peso seco (PS), aunque esto es sólo una convención, y ambos porcentajes de humedad expresan el mismo valor de cantidad de agua.

$$\%mcfw = \frac{PF-PS}{PF} \times 100 \quad \quad \%mcdw = \frac{PF-PS}{PS} \times 100$$

(contenido de humedad basado en el peso fresco) (contenido de humedad basado en peso seco)

(Moisture content fresh weight basis) (Moisture content dry weight basis)

El PF es el peso que tienen las semillas de las que quiero calcular el %mc. El PS es el peso seco (sin agua) que tienen esas semillas (se calcula eliminando toda el agua que tienen las semillas -con horno- y volviendo a pesar). Así, (PF-PS) es la cantidad de agua que tienen las semillas de las que quiero calcular su %mc. Para obtener el porcentaje de agua que tiene la semilla necesitamos elegir como referencia el PF o el PS.

En el siguiente gráfico puede observarse la curva de hidratación del *pinus nigra*, expresada en ambas formas, basado en peso fresco y basado en peso seco (gráfico 1). La forma que empleamos en todo el presente estudio para referirse a la humedad de las semillas es %mcfw, y la que empleamos para referirse a la humedad de la arena es %mcdw.

Algunas generalidades más sobre el %mc:

- En las semillas almacenadas al aire libre (sin plástico o vidrio), su %mc fluctúa con las variaciones de la humedad del aire.
- Si las semillas son almacenadas herméticamente, tendrán un nivel de humedad constante.
- No todas las semillas de un lote tienen el mismo %mc. Existe una variabilidad que hace que cada semilla tenga un %mc distinto pero cercano a la media de un conjunto de semillas. En realidad lo que hacemos es calcular siempre la media de una muestra de semillas. Las bellotas tienen una semilla tan grande que con una báscula barata podremos obtener el %mc de bellotas individuales.

Contenido de humedad de semillas de pino laricio en remojo

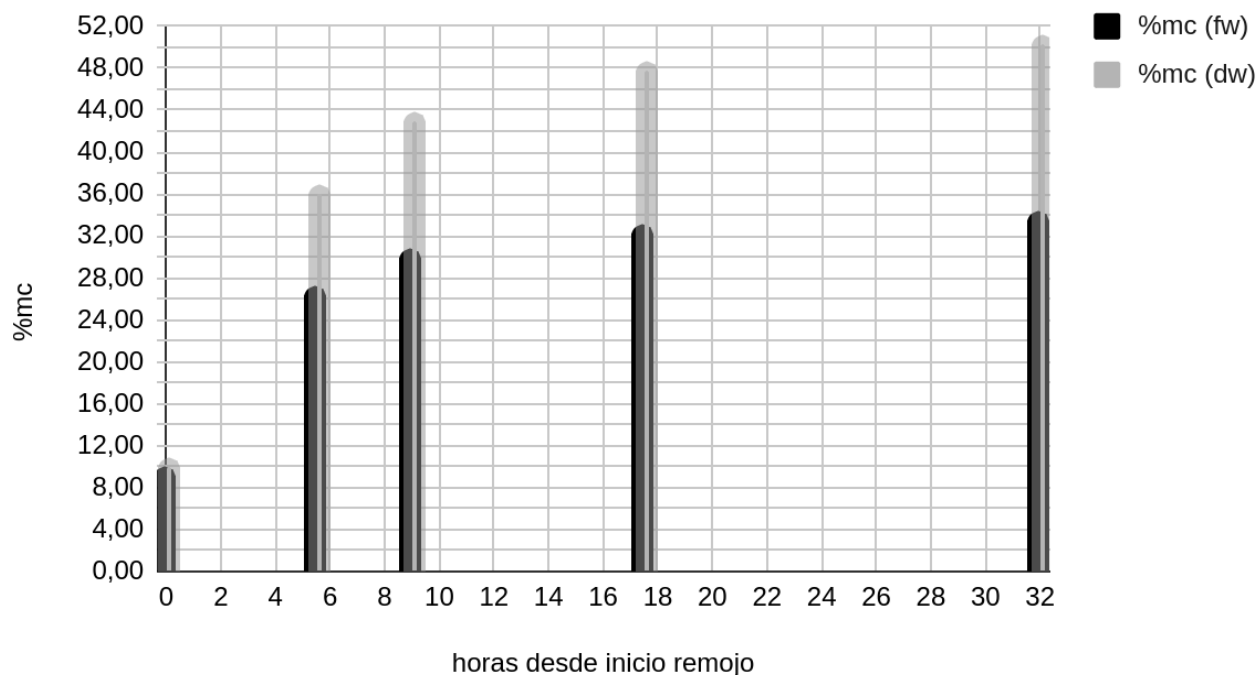


gráfico 1: curva de hidratación del pinus nigra

3.8. Qué es: Almacenamiento de semillas

Las semillas se pueden clasificar en: recalcitrantes (*Quercus*), ortodoxas (la mayoría de especies) y de comportamiento intermedio (no hablaremos de ellas). Estos nombres hacen referencia al comportamiento de la semilla frente a la desecación, lo cual va directamente vinculado a las posibilidades de almacenar las semillas.

Las semillas ortodoxas pueden almacenarse secas, sin embargo las recalcitrantes no pueden secarse para almacenamiento. Las semillas ortodoxas son las de nuestros huertos y la gran mayoría de nuestros árboles, arbustos y pastos. Por ejemplo, las semillas de lentejas que tenemos en un tarro en la cocina están casi secas, pero respiran, están vivas. Tienen tolerancia a la desecación. Al madurar en la planta, las lentejas están cargadas de humedad y, tras completarse la maduración, se van secando hasta un contenido de humedad bajo (casi seco) y en ese estado, que llamaremos semilla seca (aunque no esté completamente seca), podemos almacenar las semillas durante meses, años o décadas. En cambio, las semillas recalcitrantes (bellotas, castañas) a medida que se secan, las semillas mueren.

Para el almacenamiento de semillas recalcitrantes consultar el documento “*Manual de buenas prácticas para proyectos de restauración de Quercus en ambientes mediterráneos*”¹ publicado por Semillistas.

El almacenamiento de semillas ortodoxas es relativamente sencillo, pero si queremos alargar la viabilidad de las semillas deberemos fijarnos en dos aspectos:

- la humedad de las semillas debe ser lo más baja posible. Con una humedad relativa del aire del 50%, la humedad de las semillas se queda en torno al 9-10%mcfw. Por cada punto de porcentaje de humedad que bajemos se dobla la vida de las semillas. Dependiendo de la especie, podremos almacenarlas entre el 3% y el 6%mcfw idealmente.
- la temperatura debe ser también baja. Este aspecto no es tan importante como el anterior pero ayuda a la conservación. El método más sencillo es guardarlas en el frigorífico a 4°C. También podemos almacenarlas a -18°C, pero exige protocolos más precisos.

Entonces, para alargar la vida de las semillas, se guardan en recipientes herméticos (plástico, vidrio) a baja temperatura, una vez las hemos secado todo lo que está en nuestra mano.

Para ese secado antes del almacenamiento, en vez de pensar en complejos sistemas de laboratorio, se pueden usar esos días cálidos y secos del verano. Esos días (30-35°C, 20%HR) extendemos las semillas en una criba y la ponemos en el exterior a la sombra. En general, en 8 horas, las semillas habrán pasado de 9% a 5%mcfw. Esto puede considerarse un método casero suficiente para lograr alargar la vida de nuestras semillas.

3.9. Qué es: Curva de hidratación y fases de la germinación

En este apartado hablaremos solamente de las semillas ortodoxas. Para las semillas recalcitrantes mirar el documento de “*Manual de Buenas Prácticas...*” publicado por Semillistas.

Cuando una semilla de pino está almacenada y seca, tiene un pequeño porcentaje de humedad (la llamamos “seca” pero no está completamente seca). Si está bien almacenada, estará entre 5% y 10%mc. Si esta semilla de pino “seca” la sembramos en suelo húmedo, la semilla empieza a absorber agua y su contenido de humedad aumentará (FI, Fase I, de imbibición). Tras unas 18 horas de imbibición (gráfico 2 y 6), la semilla de pino no podrá absorber mucha más agua y su contenido de humedad interno (%mc) se estabilizará. En esta segunda fase, de contenido de humedad estable (FII, Fase II), la semilla aumenta su metabolismo (respira más) y realiza tareas de reparación de ADN, movilización de nutrientes, ARN, descomposición de almidones en azúcares y de proteínas en aminoácidos, y un sin fin de detalles. Cuando la semilla de pino ha hecho todo lo que tiene programado genéticamente para preparar la emergencia de la raíz, entonces descompone las grasas, el embrión se elonga, se rompe la cubierta de la semilla y vemos salir la punta de la raíz (FIII,

¹ https://www.semillistas.es/wp-content/uploads/2024/10/Manual_buenas_practicas.pdf

Fase III). Al iniciarse la FIII, la semilla vuelve a absorber humedad rápidamente. El tiempo que dura la FI y la FII, y el %mc de la FII, son específicos de cada especie.

En el gráfico 2, se puede observar la curva de hidratación de un conjunto de semillas. El eje X es el tiempo y el eje Y es el %mc. Este tipo de curva es válida para todas las semillas ortodoxas. En algunas semillas la FII dura unas horas y en otras meses. En algunas semillas el %mc durante la FII es 25%mcfw y en otras 65%mcfw. El tiempo que dura la FI suele ser corto, entre unas pocas horas y 1 día.

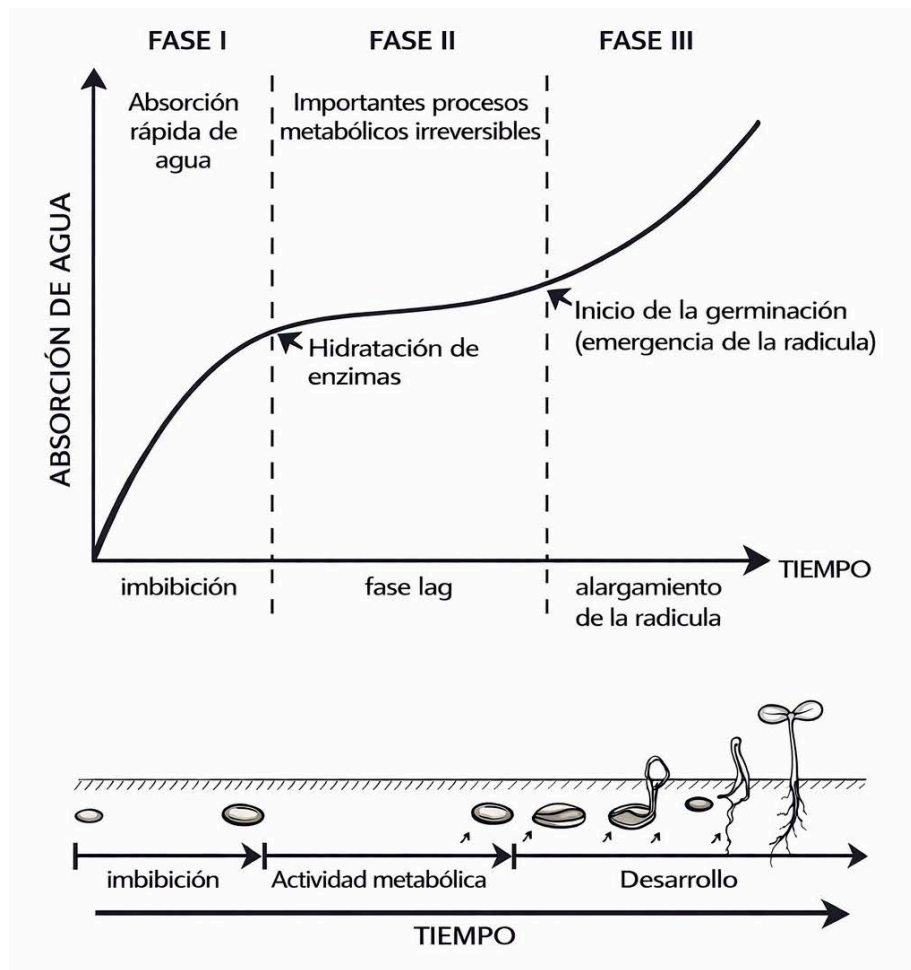


gráfico 2: fases de la germinación

La curva de hidratación la usamos para:

- averiguar el tiempo que tarda la semilla en llegar a la FII. Este tiempo es importante, ya que no podemos hacer un remojo a un lote de semillas más allá de ese tiempo, debido a que las semillas no pueden avanzar en sus procesos en la FII sin oxígeno.
- tener una primera estimación del %mcfw durante la FII. Este valor se usa en el proceso de SMP.
- También usamos el valor del %mcfw durante la FII para saber cuánta cantidad de agua necesitan unas semillas para hidratarse desde su estado seco hasta la FII. Esto es importante porque así sabremos cuánta agua dentro de una petri absorberán las semillas y podremos ajustar el contenido de humedad de la arena.

3.10. Qué es: Germinación clásica

Llamamos germinación clásica a la germinación “de un tirón” a temperatura óptima. Llamamos temperatura óptima a aquella que produce mejor resultado de las características de la germinación (porcentaje máximo de germinación, velocidad de germinación y homogeneidad).

La germinación “de un tirón” es la germinación que ha practicado la humanidad desde el inicio de la agricultura. Se basa en sembrar, regar y mantener la humedad del suelo hasta que la semilla germine o emerja. En la naturaleza no ocurre así.

En la naturaleza, una semilla situada en el suelo está seca, se humedece cuando llueve e inicia su proceso germinativo. Si no le da tiempo a germinar y el suelo se seca, la semilla vuelve a su estado seco. Cuando vuelve a llover se humedece de nuevo y continúa su proceso germinativo, con la particularidad de que esta vez, al haber realizado parte del proceso germinativo en la anterior lluvia, ahora germinará más rápido. Esto es la base de los tratamientos de priming (ciclos de hidratación-deshidratación) y por eso diferenciamos entre la germinación “de un tirón” de un lote y la germinación del lote al que previamente se le han realizado tratamientos de priming. En la naturaleza puede ocurrir una germinación clásica, pero lo normal es que ocurra un proceso germinativo con varios ciclos de hidratación-deshidratación. Más adelante hablaremos de los tratamientos de priming.

En la germinación clásica se incluyen los tratamientos necesarios para eliminar las latencias que “impiden” la germinación. Para especies con latencia física se puede usar ácido, agua hirviendo o lijar, y luego hacer la prueba de germinación. En el caso de latencia morfofisiológica, las estratificaciones cálidas y frías forman parte de la germinación “de un tirón”, es decir, hidratamos las semillas y las ponemos en frío X meses, y después, sin perder la continuidad de humedad de la semilla, se pasan a temperaturas de primavera para que germinen.

En definitiva, la germinación clásica es aquella que llevan a cabo los agricultores, los viveristas, la que aparece en los manuales y reglas del ISTA (International Seed Testing Association).

3.11. Qué es: mejora del lote

Cuando cosechamos frutos, extraemos las semillas, las limpiamos y secamos, queda un lote de semillas con el que se obtiene un porcentaje de germinación que a veces es muy bajo. Esto se debe a que muchas de las semillas están vanas, dañadas, infestadas de insectos, etc.

A los procesos que realizamos para aumentar el porcentaje de germinación de un lote (medido en una germinación clásica) los llamamos “mejora del lote”.

Estos procesos pueden ser más simples o más complejos, y algunos están integrados en los procesos de limpieza tras la cosecha y otros necesitan tener el lote ya almacenado para llevarlos a cabo. Incluso en alguna especie, la mejora del lote se lleva a cabo en algún punto del proceso de los tratamientos de priming.

Por ejemplo, tras la cosecha de bellotas, se limpian y desinfectan antes de embolsar. Durante ese proceso las bellotas que flotan se retiran debido a que han sido consumidas por el curculio. Antes de batir los frutos de lentisco, se retiran los frutos flotantes (que en su mayoría son los rojos) ya que en su interior tienen semillas vanas.

El proceso que más usamos para mejorar el lote, a partir de semillas ya almacenadas, es el de dejarlas en remojo, y tras un tiempo previamente determinado separamos las flotantes y las hundidas. Las hundidas las volvemos a secar para almacenamiento y este nuevo lote mejora significativamente el porcentaje de germinación, ya que las flotantes en su mayoría están vanas.

Un proceso que todavía no tenemos bien estudiado se llama IDS (incubation, drying, separation). Consiste en hidratar al máximo un lote, y ponerlo a secar. Las semillas que no germinarán se secan más rápido que las que sí están vivas, por lo que en un momento dado de este secado, es posible separarlas en flotantes y hundidas, debido a la diferencia de su densidad.

Es cierto que durante estos procesos algunas semillas que podrían germinar se eliminan, y en cada caso hay que valorar si es interesante realizar una mejora del lote.

3.12. Qué es: Tratamientos de priming

Hacer un tratamiento de priming consiste básicamente en secar las semillas en algún momento después de haber iniciado la hidratación de éstas. Si se pregunta a un agricultor qué pasa si, después de regar el suelo sembrado y haber iniciado los procesos germinativos de las semillas, secamos el suelo antes de que las semillas germinen, nos contestará que habremos matado a las semillas y que tendremos que volver a sembrar. Hasta los años 70 del siglo XX no se desarrolló este conocimiento que incluye la posibilidad de realizar ciclos de hidratación-deshidratación durante el proceso germinativo de las semillas. El conocimiento se ha desarrollado desde entonces en el ámbito agrícola y, desde hace pocos años, empieza a interesar a la restauración ecológica forestal.

Los beneficios que aportan los tratamientos de priming en el ámbito agrícola son:

- aceleración de la germinación,
- uniformidad de la emergencia,
- resistencia a diferentes tipos de estrés (salinidad, sequía o temperaturas extremas), tanto en la semilla como en la plántula en crecimiento,
- aumento del vigor de las plántulas,
- aumento de la producción (típicamente 10%),
- eliminación de latencias (termodormancia, fotodormancia).

En primer lugar, vamos a entender los tratamientos de priming como un tipo de proceso germinativo y después lo definiremos como tratamiento.

Podemos obtener germinaciones de una especie de dos formas:

- a través de un proceso de germinación clásica.
- a través de un proceso de germinación con uno o varios ciclos de hidratación-deshidratación.

Es decir, desde el momento en que una semilla sale de su árbol madre y se seca en el suelo, podemos hablar de que está en proceso de germinación. Cuando llueva se hidratará, realizará algunos procesos metabólicos necesarios para el proceso germinativo y, en este momento, se pueden dar tres opciones:

1. la humedad del suelo se mantiene el tiempo suficiente para hacer brotar la raíz y que ésta profundice en el suelo. Esto es, la semilla completó el proceso de germinación y la plántula se empieza a desarrollar.
2. el suelo se seca superficialmente (donde está la semilla) justo después de que la raíz brote y antes de que ésta tenga tiempo para profundizar en el suelo. La semilla y su raicita se secan. Entonces la semilla germinó (completó el proceso de germinación), pero la plántula murió rápido, antes de emerger los cotiledones.
3. el suelo se seca superficialmente (donde está la semilla) antes de que la raíz brote. Entonces la semilla volverá a secarse y permanecerá viva (con un metabolismo muy bajo) a la espera de la siguiente lluvia, con la ventaja de haber realizado ya algunos procesos metabólicos necesarios para la germinación. En el futuro volverá a llover y podrán volverse a dar cualquiera de estas tres opciones.

En Semillistas preferimos entender el proceso germinativo de esta manera, es decir, como un continuo que empieza desde el momento en que la semilla cae del árbol. Si lo entendemos así:

- cada semilla del banco de semillas en el suelo de nuestros montes está en un punto diferente de su proceso germinativo, dependiendo de los ciclos de hidratación-deshidratación que haya tenido.
- podemos ver la eliminación de latencias, no como un proceso absoluto, sino como las condiciones que deben darse dentro del continuo del proceso germinativo para que la semilla pueda brotar.
- el almacenamiento de semillas no es algo ideal, previo a una germinación “del tirón”, sino las partes del proceso germinativo en la que la semilla está en distintos grados de deshidratación.

Estos apuntes tienen un punto filosófico-científico y son necesarios para reventar nuestra mente de creencias limitantes. Pero a la hora de trabajar con las semillas en nuestro laboratorio podemos entender el priming como un tratamiento.

En laboratorio, fuera del monte, buscamos un tratamiento de priming (un ciclo de hidratación-deshidratación), dentro de los infinitos casos que se pueden dar en la naturaleza, con el que se obtengan unas características germinativas que cumplan los siguientes objetivos (estos objetivos son los que actualmente Semillistas persigue):

- mantenga o aumente el porcentaje de germinación máxima.

- acelere la germinación, es decir, que el día de empezar a germinar (T0) ocurra antes que en la germinación clásica.
- homogenice la germinación, es decir, que la duración del entre T0 y T90 disminuya.
- mejore la germinación en los aspectos anteriores a las temperaturas que esperamos en el momento de la siembra en campo.

La forma de llevar a cabo los tratamientos de priming que usamos en Semillistas son dos:

- Hidropriming.
- SMP (Solid Matrix Priming)

El proceso de HP (hidropriming) consiste en llevar a cabo, a temperatura óptima, una germinación clásica que no vamos a dejar que concluya. Antes de que la raíz de alguna semilla empiece a brotar (inicio FIII), secamos las semillas y las devolvemos a %mcfw de almacenamiento. Este tratamiento puede realizarse de cualquier forma que la humedad de las semillas siga el curso marcado por la germinación estándar. Esto puede ser poniendo las semillas en arena húmeda (o cualquier otro sustrato), en papel humedecido o en remojo aireado. En el gráfico 3 se muestra la humedad de las semillas de lentisco durante la germinación clásica en azul y durante el tratamiento de hidropriming en rojo. También se muestra la curva de germinación de la germinación clásica en verde. La FIII empieza entre el 5º y el 6º día, por lo que en el proceso de hidropriming las semillas deben secarse antes.

El proceso de SMP consiste en llevar las semillas a una humedad inferior a la humedad de la FII de la germinación clásica, a temperatura óptima. Esta humedad TMC (target moisture content) debe de estar dentro de un margen que permite el desarrollo de los procesos metabólicos que ocurren durante la FII, pero que no permite la emergencia de la raíz. El TMC se obtiene empíricamente para cada especie. En el gráfico 3 se muestra la humedad de las semillas de lentisco durante el tratamiento de SMP en amarillo. Nótese que la duración del tratamiento SMP se sitúa en torno al tiempo que tarda la germinación clásica en completarse. Así se consigue que, dado que cada semilla durante la germinación estándar entra en FIII entre los 5 y los 19 días, todas las semillas durante el proceso de SMP habrán completado todos los procesos metabólicos de la FII, sin germinar, antes del secado. Durante el proceso de HP, al secar las semillas el día 4, se consigue realizar un “buen priming” (secar las semillas cuando hayan completado su FII) sólo a las semillas de la germinación clásica que germinan los primeros días. Las semillas que tardan en la germinación clásica 15-19 días en germinar no pueden completar su FII cuando, durante el proceso de HP, secamos esas semillas el día 4.

Realizar tratamientos de SMP es más caro que hacer HP. Pero sólo las especies que completen rápidamente su germinación clásica son candidatas a realizar un HP óptimo.

El tratamiento de SMP es una de las formas de realizar un tipo de priming que podemos llamar CMC (control moisture content). Existen otras formas de realizar CMC, como el osmopriming (se utiliza PEG - polietilenglicol) o el drum priming (tambor giratorio con semillas sin medio).

En todos estos tratamientos de priming sólo se juega con los factores de temperatura, humedad de las semillas y duración del tratamiento. Son la base de los tratamientos de priming. A partir de estos, se pueden realizar otros tipos de tratamientos que introducen

mejoras añadidas, como el halopriming (priming con sales) o el biopriming (priming con microorganismos).

Procesos de priming en *Pistacia lentiscus*

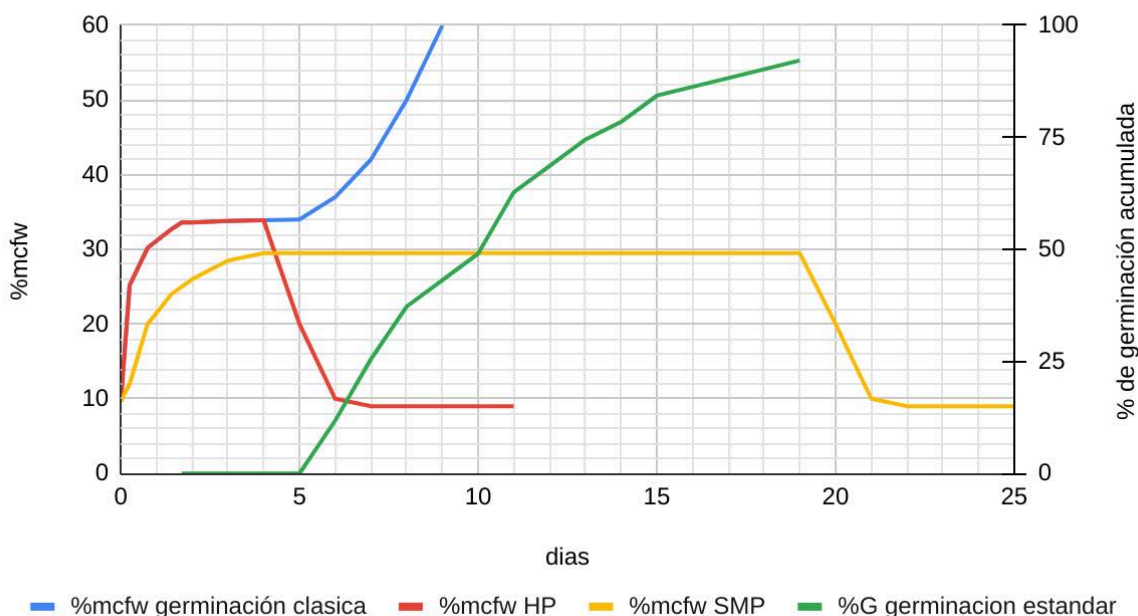


gráfico 3: priming en *Pistacia lentiscus*

3.13. Qué es: Latencia de semillas

La latencia es un término que indica que las semillas de una especie no podrán germinar en laboratorio a la temperatura (y otras condiciones) en la que vemos que emergen en campo. Por ejemplo, una semilla de almez emerge en campo a principios de primavera, en torno a los 5/15°C (noche-día). Pero si a esta temperatura la intentamos germinar en laboratorio, no obtendremos resultados. Podremos ver emerger retamas en otoño y primavera, pero si las sembramos en laboratorio a cualquier temperatura no obtendremos ningún resultado.

Por otro lado, la latencia es el mecanismo que posibilita que las semillas germinen espacialmente lejos de su árbol madre y temporalmente alejadas del momento en que empezó su dispersión. Así, dispersadas en el tiempo y el espacio, se alejan de su árbol madre y tienen capacidad de sobrevivir durante largo tiempo en el banco de semillas del suelo. Además, la latencia aumenta la probabilidad de que las semillas germinen en la época del año más favorable para que las plántulas se puedan desarrollar.

El término latencia o dormancia es a menudo confuso en su definición y muy complejo en su profundidad académica (que además no se tiene resuelto todavía). Desde Semillistas nos situamos en una posición práctica, y utilizamos el término para obtener información de las condiciones que deben ocurrir en las semillas durante el proceso germinativo para que la semilla pueda germinar.

Se distinguen diversos tipos de latencia:

- **Física.** Las semillas no pueden hidratarse por tener una cubierta impermeable. En la naturaleza son los microorganismos (u otros factores abióticos) los que consiguen generar pequeñas fisuras que finalmente posibilitan la entrada de agua a la semilla.
- **Fisiológica.** Las semillas requieren un tiempo de estratificación fría o un tiempo de postmaduración en seco o una pequeña escarificación.
- **Morfológica.** Las semillas, cuando son dispersadas por su árbol madre, tienen el embrión subdesarrollado. Necesitan un tiempo de estratificación cálida para completar el desarrollo del embrión.
- **Morfofisiológica.** Las semillas, además de tener el embrión subdesarrollado, necesitan frío para completar su FII. Se requiere, para cada especie, unos tiempos determinados de estratificación cálida seguida de estratificación fría.
- **Física + Fisiológica.** Las semillas tienen la cubierta impermeable y cuando se vence esta condición, necesita un tiempo de estratificación fría.

A continuación hablaremos de las latencias físicas, que son las que tienen las semillas de este estudio.

Para vencer la latencia física en laboratorio se recurre a la escarificación, que puede ser de varios tipos:

- ácido sulfúrico
- agua caliente
- calor seco
- acción enzimática
- mecánica (papel de lija o máquinas escarificadoras)

En función de la especie y el volumen a tratar, se elige el tratamiento más adecuado.

La complejidad de la eliminación de la latencia física reside en que diferentes lotes de la misma especie pueden requerir tiempo de tratamiento diferentes. El grosor de la cubierta cambia cada año, incluso en semillas de la misma procedencia. Cada año hay que realizar pequeños ensayos para ajustar la intensidad del método de escarificación. Si la intensidad es baja, se hidratarán pocas semillas y, si la intensidad es demasiado alta, se dañará el interior (embrión) de la semilla. Además de esta complejidad, dentro de un mismo lote el grosor de la cubierta también es variable. Esto supone que, al aplicar el tratamiento elegido, un porcentaje de semillas alcanzará un escarificado óptimo, otro porcentaje no podrán hidratarse y otro porcentaje se dañarán. La elección de la intensidad de la escarificación vendrá de valorar estos porcentajes.

En el género de las leguminosas, al hidratar las semillas tras el escarificado, se puede observar si hinchán o no, y de esta manera evaluar, sin una prueba de germinación, la efectividad del método elegido.

Una vez se ha eliminado la latencia física, se puede realizar una prueba de germinación clásica o realizar un tratamiento de priming.

3.14. Qué es: Tratamientos pregerminativos

Llamamos tratamiento pregerminativo a la forma de un proceso germinativo de un conjunto de semillas que nos sirve para iniciar de manera controlada el proceso germinativo para posteriormente trasladar esas semillas para su siembra en campo.

Es posible entender como tratamientos pregerminativos todos los procesos que hemos incluido en la germinación clásica (ruptura de latencias, remojos, etc), pero en Semillistas preferimos el término para referirnos a los procesos a realizar a las semillas (que tienen o no tratamientos de priming) justo antes de llevarlas a campo para su siembra.

Así, y para no confundirse, hablaremos de:

- tratamientos para poder llevar a cabo la germinación clásica.
- tratamientos de priming.
- tratamientos pregerminativos para la siembra en campo.

¿Por qué realizamos tratamientos pregerminativos a las semillas que sembramos en campo? Porque el suelo se seca superficialmente muy rápido, y a las temperaturas de siembra (invierno) las semillas, incluso con tratamientos de priming, tardan en germinar. Al pregerminar podemos garantizar un porcentaje previsible de germinación en numerosas condiciones de campo.

Por ejemplo:

- a unas semillas que han recibido un tratamiento de priming y que están almacenadas a la espera de lluvias para sembrarlas en campo,
- cuando ha llovido y el suelo tiene condiciones para sembrar,
- iniciamos la germinación de las semillas (con priming almacenadas), en laboratorio a 20°C,
- tras unas horas o días, dependiendo de la especie, cuando están al borde la germinación (fin FII), las sembramos en campo, con suelo húmedo, a temperaturas que rondan los 5/15°C ó 10/20°C.

Al hacerlo así, las semillas germinan rápidamente antes de que el suelo se seque.

En la metodología de las siembras en campo de Semillistas hemos optado por sembrar tras las lluvias con semillas pregerminadas, en vez de sembrar antes de las lluvias con semillas secas, porque en nuestro clima es imposible saber cuándo vamos a tener la lluvia correcta. Se pueden dar dos situaciones cuando sembramos semillas secas en campo a la espera de que vengan lluvias:

1. el tiempo que pasan las semillas en campo hasta que pueden iniciar la germinación (lluvias) es muy incierto. A veces podrán pasar semanas y a veces meses. Durante este tiempo las semillas son muy susceptibles de ser devoradas por roedores o insectos.
2. las lluvias que vengan tras la siembra pueden ser suficientes para iniciar la germinación, pero insuficientes para establecer la plántula. Es decir, podrían caer en el suelo seco del monte, donde hemos sembrado semillas secas, unos 30 mm de

lluvia y esta cantidad sería suficiente para germinar las semillas. Pero si la siguiente lluvia en venir tarda tanto que el suelo se seca, las plántulas emergidas morirían.

También podríamos sembrar tras las lluvias con semillas secas, pero debido a que el suelo superficial se seca muy rápido, para tener garantías de germinación y asegurar un porcentaje de germinación previsible, preferimos sembrar semillas pregerminadas que están al borde de la germinación en el momento de la siembra en campo, aunque ello complique las labores logísticas antes de una siembra en campo.

4. Metodología empleada

4.1. Germinación clásica y pruebas de germinación

Se estudiaron las formas clásicas de germinación de cada una de las especies (germinación “de un tirón”). Para ello se obtuvieron gráficos de germinación a temperatura óptima (y constante) de cada especie, normalmente 20°C. La temperatura óptima de cada especie la conocíamos por pruebas realizadas en años anteriores.

Para las especies con latencia física, se realizaron pruebas de germinación con semillas a las que previamente se trató con ácido sulfúrico al 96% con diferentes tiempos de inmersión. Durante la inmersión se removieron cada 10 minutos, luego se lavaron con abundante agua y se dejaron secar, para posteriormente iniciar la prueba de germinación en petri.

Todas las pruebas de germinación del estudio se realizaron en placas Petri (excepto *Quercus ilex*). Las características del montaje de estas pruebas son: petris rellenas de arena fina (menor de 300 micras) con una humedad del 11,5% mcdw; con las semillas colocadas encima de la arena y apretadas en ella; la petri cerrada con parafilm; y colocada en cámara de germinación a la temperatura adecuada; desinfección del agua, hervida 15 minutos y guardada en tarros de cristal al vacío; la arena se desinfecta con calor seco, 200°C 3 horas, y posteriormente almacenada en tarros de cristal al vacío; todo el instrumental necesario para montar las pruebas de germinación se hierve durante 15 min; las semillas se desinfectan con diferentes proporciones y tiempos de lejía en agitación (en función de la especie) con posterior lavado con agua desinfectada; el espacio de trabajo se desinfecta rociando una solución de alcohol, agua oxigenada y agua; se trabaja cerca de un mechero bunsen. Preferimos hablar de desinfección, en vez de esterilización, debido a qué no usamos autoclave.

Los porcentajes de lejía que se muestran en el estudio están referidos al volumen total de la disolución. Así, una disolución al 30% de lejía, tiene 30% de lejía y 70% de agua. La lejía empleada es la lejía comercial para uso de desinfección de agua de bebida, con una concentración de cloro del 3,5%.

Las pruebas de germinación de *Quercus* se realizan en bolsas zip de PEbd de 50 micras, rellenas de arena de entre 500-1000 micras (3 veces el volumen de semillas), con humedad del 11,5% mcdw. Los detalles de desinfección y conteos son como en las petris, excepto las bolsas de PE, que no se desinfectan.

Todas las pruebas de germinación se llevaron a cabo en oscuridad, excepto cuando se realizaban los conteos de germinaciones.

Cada prueba de germinación consistió en 1 ó 2 réplicas de entre 30 y 60 semillas, dependiendo de la especie. Los datos que se muestran en las fichas de cada especie son la media de ambas réplicas.

Los conteos se realizaron cada 3-4 días al inicio de la germinación y cada 7 días después de llevar 2 semanas germinando. Se considera germinación cuando la raíz mide 2mm. En *Quercus ilex* se considera germinación cuando la raíz “gira” hacia abajo. Durante los conteos, se anotó el número de germinaciones para cada margen de longitud de raíz (menor de 2 mm, de 2 mm a 5 mm, de 5 mm a 10 mm, etc), y de esta manera se realizaba una estimación del número de germinaciones de cada día. Los gráficos de germinación muestran los datos de esas estimaciones.

En la mayoría de los casos se realizó la prueba de germinación al lote que se iba a estudiar y que se utilizaría para la siembra en campo. Pero en algunas especies teníamos diferentes lotes con diferentes formas y tiempos de almacenamiento. Se muestran también los resultados de la germinación clásica de estos lotes.

4.2. Mejora del lote

Se utilizaron tres métodos para mejorar los lotes de algunas de las especies estudiadas.

El proceso de mejora durante la extracción y limpieza de semillas ya se comentó en el apartado “3.11 mejora de lote”.

El proceso de mejora basado en “el tiempo de remojo de las semillas almacenadas”, consiste en dejar a remojo las semillas durante un tiempo determinado y extraer las hundidas tras ese tiempo, para posteriormente realizar pruebas de germinación (tanto a las hundidas, en los diferentes intervalos de tiempo, como a las flotantes) y obtener el tiempo óptimo de remojo para extraer las hundidas y aumentar el porcentaje de germinación del lote.

Cuando los parámetros para mejorar el lote de una especie están claros, se realiza el proceso a la cantidad de semillas que esperamos utilizar en el corto plazo. Durante este proceso, tras la separación, las flotantes se descartan y las hundidas se vuelven a secar para almacenamiento. En algunas especies hemos observado que realizar este proceso de mejora acelera el deterioro de las nuevas semillas almacenadas. Debido a ello, realizamos este proceso de mejora sólo a las semillas que vamos a utilizar en los próximos 6 meses. Y así conservamos el lote original que tiene mejor respuesta al almacenamiento.

El proceso de mejora del lote “integrado en los tratamientos de priming” lo aplicamos en especies de latencia física. El proceso sería como sigue:

1. Tratamiento de ácido sulfúrico durante el tiempo óptimo. Volver a almacenar.
2. Inicio del tratamiento de hidropriming por remojo aireado.
3. Tras 24 horas de remojo aireado, parte de las semillas estarán hinchadas y otras no. Se separan las hinchadas de las no hinchadas con la criba adecuada.
4. Las hinchadas siguen en remojo aireado durante el tiempo óptimo del tratamiento de priming y luego se secan para finalizar el tratamiento.

5. Las no hinchadas siguen en remojo aireado en otro recipiente.
6. Tras otras 24 horas de remojo aireado, parte de las semillas que no habían hinchado, habrán hinchado y parte no. Se separan.
7. Las hinchadas siguen en remojo aireado durante el tiempo óptimo del tratamiento de priming y luego se secan para finalizar el tratamiento. Nótese que si no las hubiéramos separado en el punto 3, estas semillas no tendrían la duración óptima del tratamiento de priming.
8. Podemos seguir repitiendo el punto 5, dependiendo del nº de semillas hinchadas o del valor económico de éstas.

Con este método, no sólo eliminamos las semillas que no germinarán (las que no hinchan tras varios ciclos), sino que conseguimos un priming de duración óptima para todas las semillas.

4.3. Obtención de los tratamientos óptimos de priming

La elección del tipo de tratamiento de priming para cada especie deriva de la observación de la germinación clásica. Debemos observar cuántos días tarda en empezar a germinar (T0) y cuántos días se alarga la germinación (T90, se refiere al tiempo que tarda en alcanzar el 90% de las germinaciones posibles de ese lote). Además hay que tener en cuenta las latencias fisiológicas o morfofisiológicas. Como entre las especies de estudio sólo encontramos latencias físicas, tenemos los casos de especies en cuya germinación clásica:

- T0 está entre 1 y 5 días, y T90 entre 1 y 10 días. Para estos casos usaremos las técnicas de hidropriming. Es decir, especies sin latencia cuyas semillas germinan rápida y uniformemente (aquí incluimos las especies cuya latencia física ha sido eliminada con ácido sulfúrico).
- En las especies cuyas semillas tengan germinación lenta, no uniforme, errática, usaremos las técnicas de CMC (control moisture content). En el caso del presente estudio se usa SMP (solid matrix priming) como una de las formas posibles de realizar CMC.

Todas las especies pueden recibir tratamientos de priming tipo CMC, pero no todas hidropriming (al menos con resultados óptimos). Los márgenes de T0 y T90 mostrados son orientativos, depende en gran medida de cómo se comporte la especie a los tratamientos de hidropriming. Esto es, podría parecer que a una especie dentro de esos márgenes le funcionará el hidropriming, pero luego empíricamente comprobamos que no es así, y tenemos que realizar un CMC. Las técnicas de hidropriming son más fáciles y económicas de llevar a cabo, por lo que si la germinación clásica está dentro de esos márgenes, será la primera técnica que probemos.

Hidropriming

La forma de hidropriming usada en las especies del estudio es el remojo aireado a la temperatura óptima que se utilizó en la germinación clásica. Además de la temperatura, el otro factor para definir el hidropriming es la duración del tratamiento. Esta duración no puede sobrepasar T0, o lo que es lo mismo, el tiempo en el que se pasa de FII a FIII del

proceso de germinación. Las semillas que germinen durante el remojo aireado morirán durante el secado posterior. Así, en el proceso de estudio, para las distintas especies a las que aplicamos esta técnica de priming, se eligen 2 ó 3 tiempos de duración del tratamiento inferiores a T₀, y se comparan los resultados obtenidos mediante pruebas de germinación a temperatura óptima.

El proceso del estudio queda así:

1. La temperatura del proceso de priming es la óptima de la germinación clásica.
2. Se proponen 2 ó 3 duraciones del proceso, inferiores a T₀.
3. Se realiza remojo aireado para cada duración.
4. Se secan las semillas, mediante “slow dry”, en un ambiente de unos 15-20°C y 40-60%HR.
5. Se almacenan las semillas.
6. Se realizan pruebas de germinación a temperatura óptima a los distintos tratamientos de priming realizados y se comparan entre sí y con las semillas sin tratamiento de priming.

Solid Matrix Priming

Esta técnica exige más control y precisión durante el proceso que el hidropriming. Los parámetros que definen este tratamiento de priming son: la duración del tratamiento, el %mcfw de las semillas durante el proceso de priming (le llamaremos TMC, target moisture content) y la temperatura.

En general, la temperatura del proceso SMP es la misma que la óptima para la germinación clásica. Si la temperatura es muy alta (más de 20°C) o las semillas son propensas a desarrollar hongos, exige un proceso muy cuidadoso de esterilización. Por eso, para *Pinus halepensis* hemos realizado el proceso de SMP a 15°C. Esta especie germina bien a 15°C y las infestaciones de hongos se reducen significativamente.

El TMC debe tener un valor que no permita germinaciones durante la duración del tratamiento SMP. Para ello deben realizarse unas pruebas preliminares para obtener el valor de %mcfw al cual no se producen germinaciones. Este valor es inferior al valor del %mcfw durante la FII del proceso de germinación clásica. Cuando tengamos el valor del %mcfw al que se produce germinaciones, tomaremos 2 ó 3 hipótesis del valor del TMC. Por ejemplo, si en FII el %mcfw es 30% y el valor al que no se producen germinaciones es 27%, tomaremos como hipótesis del TMC 26% y 24%. El hecho de no tomar 26% y 25%, es debido a la precisión de alcanzar un %mcfw mediante SMP, que ronda $\pm 1\%$ mcfw.

La forma de poner en práctica el SMP es mediante la colocación de una determinada cantidad de semillas en una bolsa zip de PEbd de 50 micras, con una determinada cantidad de arena sílice de 500-1000 micras y una determinada cantidad de agua. La cantidad de arena para todos los SMP del estudio es 30 veces el peso de las semillas (años anteriores realizamos pruebas preliminares para determinar este valor para semillas de unos 2-5 mm). La cantidad de agua que se debe introducir depende del valor del TMC, de la especie y del %mcfw de almacenamiento de las semillas, y se calcula de manera empírica. Con esos datos empíricos relacionamos mediante una recta de regresión el %mcdw de la arena con el %mcfw alcanzado por las semillas durante el proceso de SMP.

El proceso del estudio queda así:

1. La temperatura del proceso de priming es la óptima de la germinación clásica.
2. Se calcula el %mcfw del lote en almacenamiento.
3. Se calcula el %mcfw de las semillas en FII del proceso de germinación clásica.
4. Se proponen varios %mcfw como TMC.
5. Se estima el %mcdw de la arena para alcanzar los TMC.
6. Se realiza un SMP con las estimaciones de %mcdw y con los datos obtenidos se obtiene la curva de regresión que relaciona el %mcdw de la arena con el %mcfw alcanzado por las semillas durante el proceso de SMP.
7. Se realiza un SMP a partir de los datos de la curva de regresión con diferentes TMC y se mantienen por tiempo ilimitado para observar a qué %mcfw germinan las semillas durante el proceso.
8. Una vez sabemos la T^a , la curva de regresión (%mcdw arena vs %mcfw semillas) y el %mcfw al que germinan las semillas durante el proceso de SMP, sólo nos queda averiguar el tiempo óptimo de duración del proceso.
9. Se eligen 2-3 posibles TMC por debajo del %mcfw al que germinan las semillas. Para cada TMC se realiza SMP con diferentes duraciones del proceso. El tiempo alrededor del cual se eligen las duraciones del proceso es el tiempo T90 de la germinación clásica, es decir, el tiempo que tardan las semillas en completar la germinación clásica.
10. Al finalizar el proceso de SMP, se secan las semillas, mediante "slow dry", en un ambiente de unos 15-20°C y 40-60%HR.
11. Se almacenan las semillas.
12. Se realizan pruebas de germinación a temperatura óptima de los distintos tratamientos de priming realizados y se comparan entre sí y con las semillas sin tratamiento.

4.4. Los tratamientos pregerminativos

La primera hipótesis que barajamos para preparar semillas (con priming y almacenadas) mediante técnicas de pregerminación, era que debíamos poner las semillas a T^a óptima de germinación hasta que estuviera al borde de la germinación, para inmediatamente llevarlas para siembra en campo. Para iniciar el proceso pregerminativo se preparan bolsas de PEbd con arena de 500-1000 micras al 11,5%mcdw mezclada con las semillas durante el máximo de tiempo posible (sin sobrepasar T_0 , tiempo en iniciar la germinación) a 20°C en laboratorio. Cuando la previsión de lluvias asegura agua suficiente en suelo para garantizar el desarrollo de la plántula, se inicia el proceso pregerminativo, de tal manera que cuando las semillas se siembren en campo se cumplan dos condiciones:

- las semillas no deben haber llegado a germinar,
- no debe haber pasado tanto tiempo desde las lluvias que el suelo superficialmente esté seco.

Cada especie a cada temperatura, con su tratamiento de priming, tiene un T_0 diferente. Así, en función de la organización de las siembras, se deberá iniciar el proceso pregerminativo a cada especie en días diferentes.

Normalmente el proceso se inicia con la desinfección de las semillas (con priming y almacenadas) en una solución de lejía. Luego se introducen en la bolsa con arena húmeda y se meten en cámara a 20°C. Cuando se va a sembrar, se separa la arena de las semillas bajo el grifo, se secan un poco superficialmente y se envuelven con un film coating de diatomeas micronizadas para hacer las semillas manejables (que no se peguen entre ellas). Las semillas con diatomea se meten en un tarro de plástico, que utilizará el sembrador en campo.

El estudio que se llevó a cabo en laboratorio consistió en averiguar cómo responderían las diferentes especies a estos tratamientos pregerminativos. Para ello, se seguía el siguiente procedimiento para cada especie:

1. Se montan pruebas de germinación en Petris (procedimiento descrito en “Metodología/Germinación clásica”) tanto de semillas con priming como de semillas sin priming (control).
2. Unas petris se introducen directamente a 5/15°C y 10/20°C, para pruebas de germinación sin pregerminación.
3. Las otras petris, se introducen a 20°C, durante X días, y posteriormente se pasan a 5/15°C y 10/20°C.
4. Se sigue el procedimiento descrito en “Metodología/Germinación clásica” para los conteos de germinaciones, con la salvedad de que el tiempo $t=0$ de los gráficos de germinación en el caso de las pregerminaciones, es cuando la petri pasa a temperatura subóptima.

Los X días de pregerminación dependen de cada especie (y tratamiento que tenga) y viene determinado por un tiempo máximo (T_0 a 20°C).

Nos dimos cuenta que algunas especies no responden bien al cambio de 20°C a temperaturas subóptimas y que los tratamientos pregerminativos pueden enlentecer la germinación en vez de acelerarla. Por esta razón realizamos un segundo estudio (únicamente con *Pinus nigra*) para observar la respuesta a tratamientos pregerminativos con diferentes temperaturas.

4.5. Escarificación

El método para escarificar las semillas de bolina, retama y algarrobo fue el ácido sulfúrico al 96%. Se evaluaron diferentes tiempos de inmersión (con agitación cada 10 minutos) en cada especie. Tras la inmersión, las semillas se colaban y se limpiaban bajo agua corriente unos 5 minutos. Después se extendían para secar y posterior almacenamiento.

4.6. Curva de hidratación

Las curvas de hidratación que se obtuvieron durante el estudio trataban de identificar cuando ocurre la transición entre la FI y la FII, y el %mcfw de la FII. No se obtuvo la curva de hidratación para el momento de entrada en la FIII por no ser útil en la práctica (además,

sabemos cuando ocurre la transición de FII a FIII a través del inicio de la germinación observado en las pruebas de germinación).

El procedimiento para obtener la curva es:

1. medir el %mcfw de almacenamiento del lote.
2. pesar la muestra de semillas. Se usaba únicamente una réplica de 1g (en semillas grandes se aumentaba el peso de la muestra).
3. poner la muestra a remojo a la temperatura a la que se realizan los tratamientos de priming.
4. A intervalos de tiempo definidos para cada especie, se extrae la muestra del remojo en un colador, se seca con toallas de papel superficialmente, se pesa y se vuelve a introducir a remojo.
5. El proceso se repite hasta que el peso alcanzado se estabiliza.
6. Tras la última pesada, se calcula el %mcfw de las semillas (en horno), que corresponde a la humedad durante la FII.

4.7. Contenido de humedad

Para obtener el contenido de humedad de las semillas usamos un horno a $103 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 17 ± 1 horas.

En el momento en el que se quiere calcular la humedad de las semillas, éstas se pesan (PF) y se introducen en recipientes numerados. Estos recipientes permanecen a la espera de tener suficiente cantidad como para encender el horno. Los recipientes son tarros de vidrio con tapa “twist off” y junta interior de goma. Tras las 17 horas de horno, se ponen las tapas a los tarros de vidrio y se dejan enfriar las semillas hasta que alcancen T^a ambiente (1 hora aprox). Si el proceso ha ido bien, los tarros hacen el vacío al enfriarse, y esto asegura que la humedad del aire exterior del horno no se ha introducido en el tarro y modificado la humedad de las semillas. Tras 1 hora, se abren los tarros, se vuelca la semilla en un recipiente puesto sobre una báscula de precisión 0,0001 gr y se anota el peso (PS).

El cálculo del contenido de humedad se realiza en base al peso fresco:

$$\%mcfw = \frac{PF-PS}{PF} \times 100$$

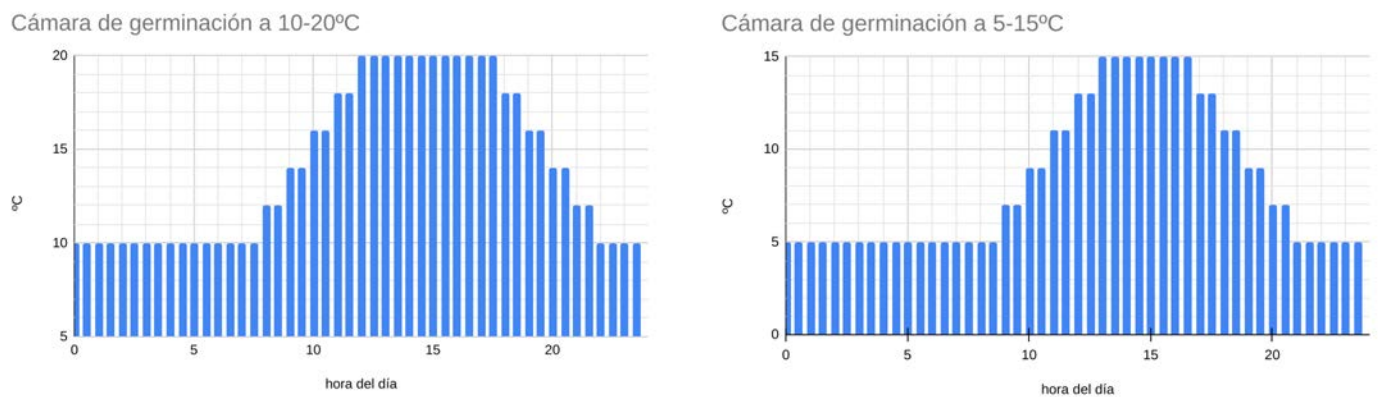
La báscula que empleamos para realizar los pesos es de precisión 0,1 mg. El error que introduce en la medición del peso es $\pm 0,2$ mg. Con estos datos, y usando el método de propagación de errores de las derivadas parciales, el error en el %mcfw para una muestra de 0,8 g es menor de 0,1%mcfw.

4.8. Pruebas de germinación a temperaturas subóptimas

Las pruebas de germinación se realizaron siguiendo el proceso descrito en “4.1 Germinación clásica y pruebas de germinación”.

Para obtener datos de germinación adaptados a las condiciones de campo, las temperaturas de las cámaras de germinación se ajustaron a 10/20°C y 5/15°C, siguiendo la pauta de horas que corresponden aproximadamente a los meses de febrero y enero respectivamente (gráfica 4).

El error en las oscilaciones de la temperatura del interior de las cámaras es como máximo $\pm 1^{\circ}\text{C}$.



gráfica 4: temperaturas de las cámaras de germinación

5. Fichas sobre la investigación de cada especie

Información aclaratoria:

La información para cada especie se estructura en:

- lote
- germinación clásica
- mejora del lote
- curva de hidratación
- tratamientos de priming
- pruebas de germinación a temperaturas subóptimas
- tratamientos pregerminativos

Todas las curvas de germinación muestran la media de una o dos réplicas.

Cuando indicamos en el texto que una semilla germina entre 2 y 6 días, esto se calcula para:

- T0: tiempo en el que aparecen los primeros germinados con longitud de 2 mm.
- T90: tiempo en el que se completa el 90% de las germinaciones de esa prueba de germinación.

Así cuando decimos: “germina entre 2 y 6 días, hasta el 85%”, esto significa:

- T0 = 2 días
- T90 = 6 días
- % máximo de germinación de la prueba de germinación: 85%.
- 85% no es el porcentaje de germinación en T90, sino en T100.

Las leyendas de cada gráfica muestran un resumen de las características de los tratamientos aplicados:

- tratamientos SMP: nombre del tratamiento + %mcfw al final del tratamiento + duración del tratamiento + temperatura del tratamiento + secado
- tratamientos pregerminativos: información sobre el tratamiento SMP + Pregerminación (arena o remojo) + temperatura pregerminación + duración pregerminación + temperatura de la prueba de germinación posterior al pregerminado.
- tratamientos de escarificación: se muestra el tipo de escarificación (ácido al 96%) y la duración de la inmersión.

En las curvas de germinación procedentes de tratamientos pregerminativos, el proceso es el siguiente:

1. se ponen las semillas a pregerminar en arena humedad a 20°C un tiempo determinado
2. sin secar las semillas, tras la pregerminación las semillas se transfieren a la temperatura de 10/20°C o 5/15°C.

3. el tiempo 0 de las curvas procedentes de semillas pregerminadas corresponde al momento de transferencia a las temperaturas subóptimas. Esto lo hacemos así porque ese momento emula el momento de la siembra en campo.

Los datos que se muestran en las gráficas de temperaturas subóptimas y pregerminación son referidos al lote principal con el que se trabajó la germinación clásica y la obtención del tratamiento de priming óptimo. Pero el tratamiento SMP o HP empleado en la obtención de estas gráficas a temperaturas subóptimas y pregerminación puede ser ligeramente diferente del óptimo. En la leyenda de las gráficas aparecen los datos relevantes a los parámetros de priming relativos a las curvas de germinación que muestran.

FICHAS POR ESPECIE



PINUS HALEPENSIS



LOTE

El lote utilizado fue adquirido al Centro Forestal El Serranillo y la procedencia es de las Cordilleras Subbéticas (cosecha 2014).

Durante el proceso de estudio las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. El contenido de humedad de las semillas de cada sublote utilizado a lo largo del año fue: 6,8%, 6,6% y 6,7% mcfw.

El lote madre corresponde a la cosecha de una gran diversidad de árboles, con lo que el tamaño de las semillas es bastante heterogéneo.

MEJORA DE LOTE

No se consideró necesaria una mejora del lote, al obtener germinaciones que rondan el 90%.

GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 5)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>P. halepensis</i>	20°C	--	--	30% 15'	7	15	88%

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 40 y 50 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 6)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>P. halepensis</i>	15-20	30%



TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 5)

<i>P. halepensis</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control	--	--	--	--	--	20°C	7	15	88%
SMP óptimo	15°C	32	30%	29%	24%	20°C	3	7	94%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es 15 días, se propuso realizar tratamientos de SMP, en vez de HP.

La temperatura del proceso de SMP se cambió de 20°C a 15°C para reducir la posibilidad de infestación de hongos durante el tratamiento de SMP. Esto se pudo hacer debido a que esta especie germina a 15°C de manera similar a 20°C, con la salvedad de que lo hace un poco más lentamente.

El %mcfw durante la FII es 30%. Observamos que un tratamiento de SMP a 15°C durante 30 días con semillas al 29,3%mcfw, empezaba a germinar. Con valores inferiores al 29%mcfw nunca obtuvimos germinaciones.

Realizamos una gran cantidad de pruebas de SMP con diversos contenidos de humedad (gráfico 5) y duraciones del tratamiento. Normalmente, acercar la humedad de las semillas durante el tratamiento de SMP al 29%mcfw, hubiera dado los mejores resultados. Pero no fue así para esta especie.

En el gráfico 5 se pueden observar las curvas de germinación de los diferentes tratamientos realizados. Todas las pruebas de germinación se realizaron a 20°C estables. Todos los tratamientos de SMP realizados mejoraron las características de la germinación, aunque unos tratamientos mejor que otros. Siguiendo el orden de tratamientos más óptimos a menos óptimos, describimos las curvas de el gráfico 5:

- El tratamiento más óptimo, línea roja, germina a 20°C entre 3 y 7 días, en comparación con la semilla control, que lo hace entre 7 y 15 días. Así, definimos el tratamiento óptimo de SMP para *Pinus halepensis* con TMC= 24%mcfw y Duración=32 días.
- Las curvas de línea continua del gráfico son tratamientos casi óptimos. Corresponden a tratamientos con TMC=24% y duraciones menores de 30 días; y duraciones de 30 días y 26,7%mcfw.
- Las curvas de línea punteada pierden velocidad de germinación, aunque conservan una buena mejora de la germinación. Corresponden al %mcfw de las semillas de:
 - 21% y 22% independientemente de la duración del proceso;
 - 23,6%mcfw con 18 días;
 - 28,3%mcfw con 30 días;

Es decir, si nos alejamos del TMC=24%mcfw y Duración= 32 días, por arriba o por abajo, perdemos parte las mejoras que se logran con el priming óptimo, pero conservamos parte de ellas.

Se realizaron pruebas de SMP con 20°C durante el proceso de priming (gráfica 5, línea de trazo discontinuo). La susceptibilidad al desarrollo de hongos, tanto durante el proceso de SMP, como en las pruebas de germinación posteriores, fue mayor que realizando el proceso de SMP a 15°C. Los resultados apuntan a las mismas conclusiones que realizando el SMP a 15°C: acercarse al TMC de 24%mcfw y 30 días mejora la calidad del tratamiento.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 7 y 8)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	12	26	70%
<i>SMP</i>	10/20°C	6	13	90%
<i>control</i>	5/15°C	26	61	70%
<i>SMP</i>	5/15°C	14	32	88%

Las semillas con tratamientos de SMP aumentan considerablemente la velocidad de germinación respecto al control, además de incrementar la germinación total obtenida, tanto a temperaturas óptimas como subóptimas.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 7 y 8)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y SMP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan en 7 días, la pregerminación fue de 6 días.
- Como las semillas SMP a 20°C germinan entre 3 y 4 días, la pregerminación fue de 3,5 días.
- A 10/20°C (gráfico 7) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) consiguieron adelantar la curva de germinación en 2 días, llegando a porcentajes de germinación similares a las semillas sin pregerminación (línea roja). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentaron mucho su velocidad de germinación, pero ésta se alargó en el tiempo, consiguiendo llegar sólo al 50% de germinación.
- A 5/15°C (gráfico 8) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) consiguieron adelantar la curva de germinación en 7 días, pero disminuyendo el porcentaje de germinación al 60% respecto a SMP sin pregerminación (línea roja). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) consiguió llegar sólo al 20% de germinación, aunque rápidamente.

Respecto al uso de la técnica de pregerminación empezamos a ver que los resultados no son como esperábamos. El cambio de 20°C estables a temperaturas subóptimas produce un detrimento en las características de la germinación (velocidad y porcentaje de germinación). El detrimento es claro cuando se pasa de 20°C a 5/15°C. Cuando se pasa a 10/20°C, las semillas SMP sí consiguen mejorar las características de la germinación. El observar este detrimento en varias especies de las estudiadas, nos llevó a estudiar más a fondo las consecuencias de pasar de una temperatura durante la pregerminación a otra que emula la temperatura en campo (estudio en *Pinus nigra*).



VARIABILIDAD DE LA HUMEDAD DE LAS SEMILLAS AL FINAL DEL TRATAMIENTO DE SMP (gráfico 9)

Para comprobar la replicabilidad del método de SMP se realizaron varios tratamientos con las mismas características para observar el %mcfw al cual llegaban las semillas al final del tratamiento. Controlar a qué %mcfw llegan las semillas es determinante en la calidad de las semillas obtenidas. Además se pretendía observar la amplitud de llegada del %mcfw, es decir, la variabilidad de %mcfw de las semillas al final del proceso de SMP.

Se realizaron 14 tratamientos de SMP con dos humedades de la arena diferentes y diferentes duraciones del proceso. De cada tratamiento se calculó la humedad a 6 réplicas de aproximadamente 0,8 gr de semillas (gráfico 9).

	Media %mcfw inicial (semillas)	%mcdw inicial (arena)	Media %mcfw final (semillas)	Desv. Std. %mcfw final (semillas)
<i>P. halepensis</i>	6,6%	1,05%	24,3%	0,6%
<i>P. halepensis</i>	6,6%	0,9%	21,6%	0,5%

De la observación de muchos gráficos de germinación de diferentes especies con tratamientos SMP, hemos concluido que la desviación estándar máxima para obtener un buen tratamiento de SMP, no debería superar el 1%, es decir que las semillas al final del proceso estén a un %mcfw = TMC $\pm$ 1%. Si esta variabilidad aumenta, el proceso de mejora no será homogéneo para todas las semillas del tratamiento.

SMP Pinus halepensis. PG a 20°C

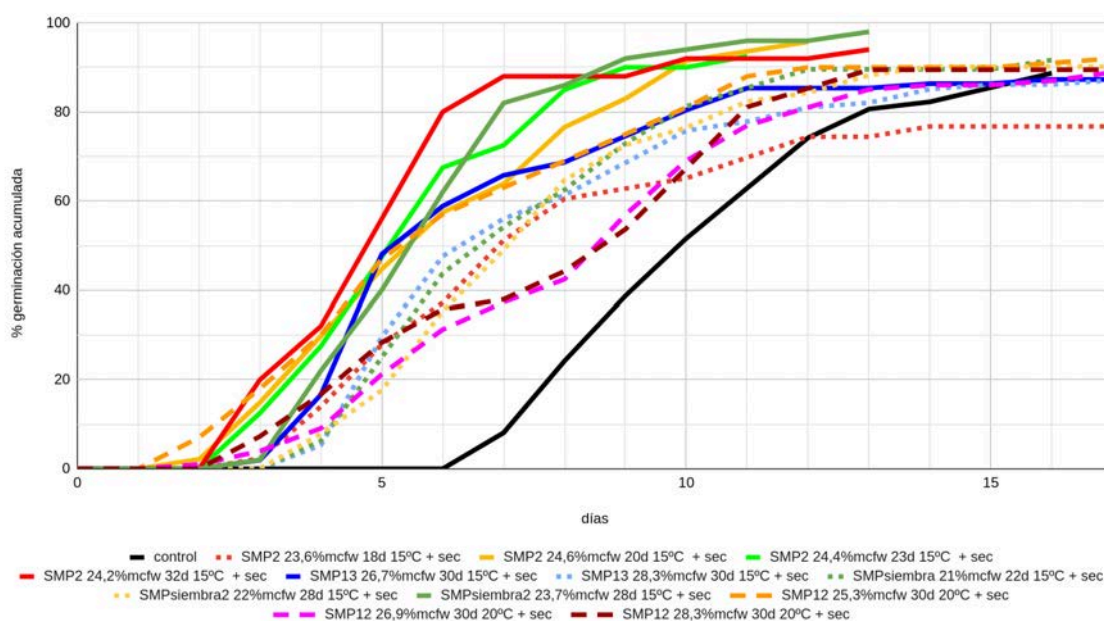


gráfico 5: curvas de germinación para *Pinus halepensis*



Curva hidratación Pinus Halepensis

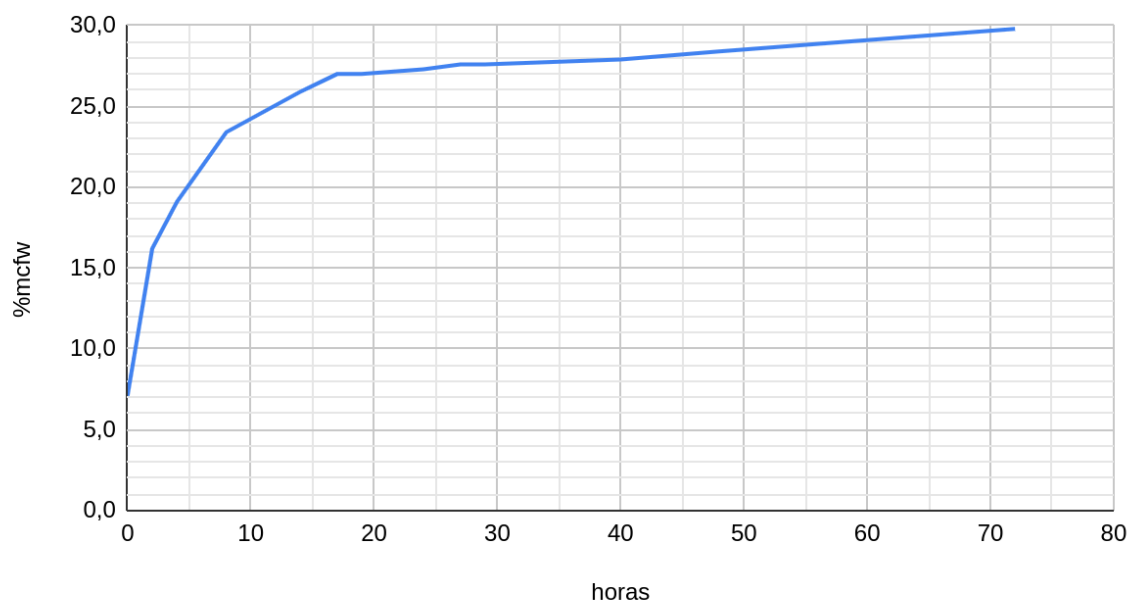


gráfico 6: curva de hidratación para *Pinus halepensis*

Priming Pinus halepensis. PG a 10/20°C

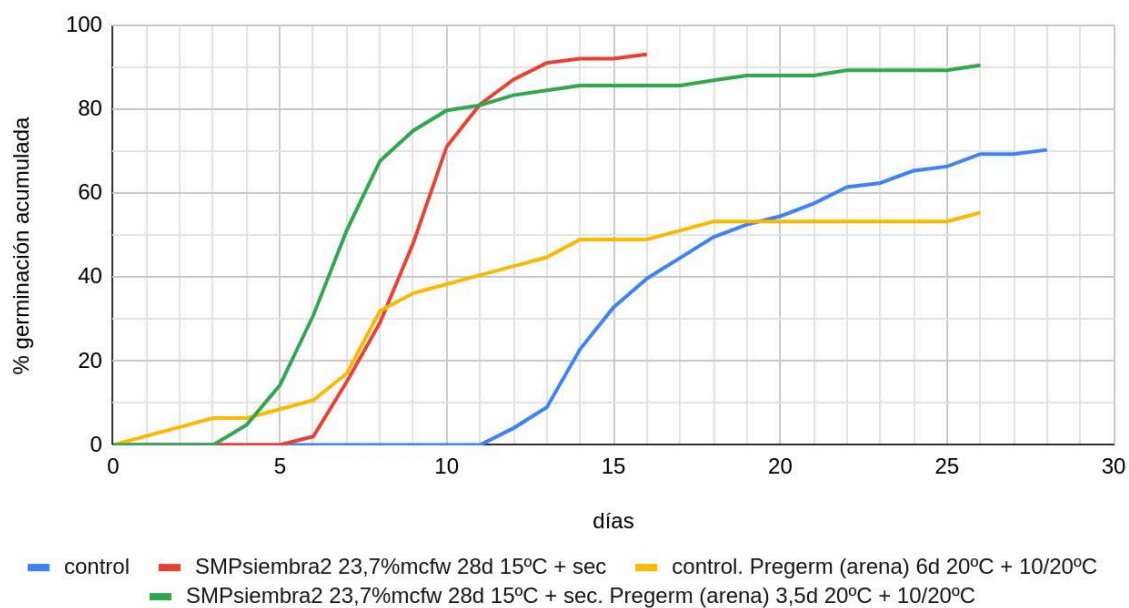
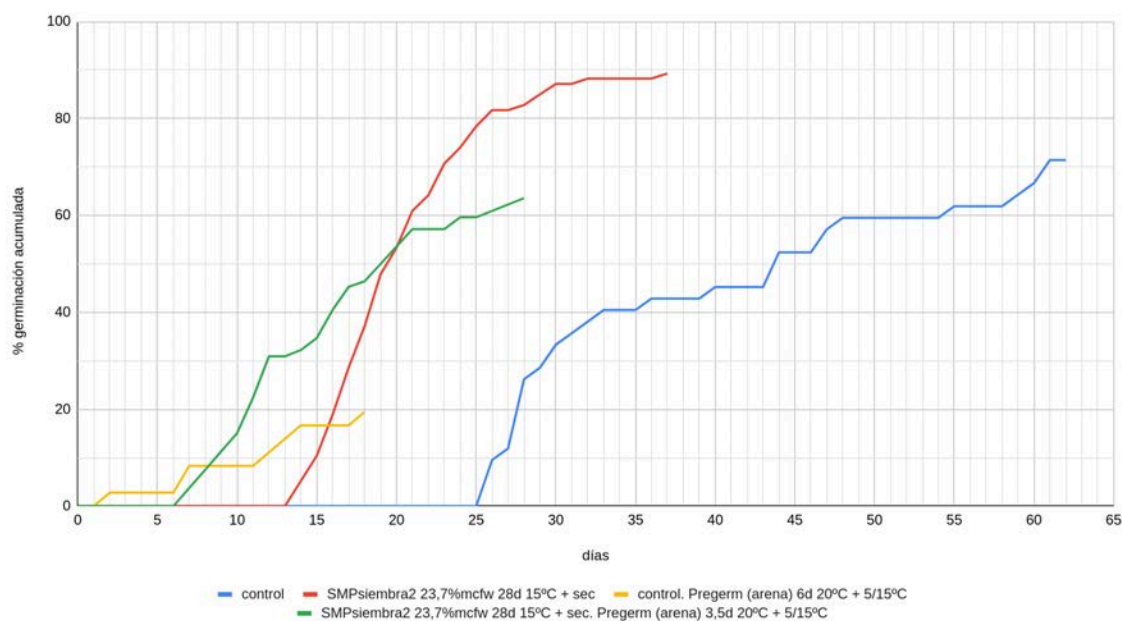
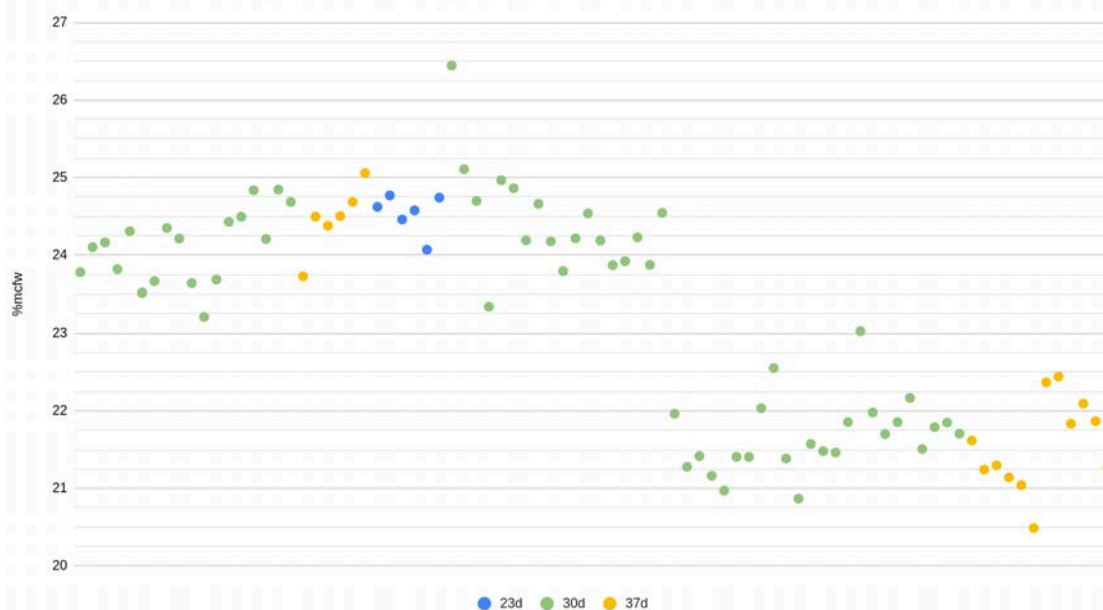


gráfico 7: curvas de germinación para *Pinus halepensis*



Priming *Pinus halepensis*. PG a 5/15°Cgráfico 8: curvas de germinación para *Pinus halepensis**Pinus halepensis*. Variabilidad en %mcfw de las semillas a la salida del SMP.

Desde semillas al 6,6%mcfw inicial, con arena al 1,05%mcfw (izquierda), 0,90%mcfw (derecha). La leyenda indica el número de días de tratamiento hasta que se mide la humedad de las semillas.

gráfico 9: variabilidad en el contenido de humedad para *Pinus halepensis* durante SMP

PINUS NIGRA SALZMANNII



LOTE

Los lotes utilizados fueron adquiridos al Centro Forestal El Serranillo y la procedencia es de las Cordilleras Béticas cosecha 2014 y Sierra Mágina cosecha 2014. Excepto el apartado especial de pregerminación (que sólo hicimos con esta especie, lote Mágina), todas las demás pruebas se realizaron con el lote Béticas.

Durante el proceso de estudio las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. El contenido de humedad de las semillas de cada sublote utilizado fue: 7,1% mcfw para Béticas y 6,3% mcfw para Mágina.

El lote madre corresponde a la cosecha de una gran diversidad de árboles, con lo que el tamaño de las semillas es bastante heterogéneo.

MEJORA DE LOTE

No se consideró necesaria una mejora del lote, al obtener germinaciones que rondan el 90%.

GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 10)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>P. nigra salzmannii</i>	20°C	--	--	10% 15'	3	10	85%

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 30 y 50 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 11)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>P. nigra salzmannii</i>	10-15	32%



TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 10)

<i>P. nigra salzmannii</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control	--	--	--	--	--	20°C	3	10	85%
SMP óptimo	20°C	9	32	29,5	29,5	20°C	1	3	90%
HP óptimo	20°C	45 horas	--	--	--	20°C	1	3	90%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es 10 días, quisimos estudiar tanto los tratamientos de SMP como los de HP.

El %mcfw durante la FII es 32%. Observamos que un tratamiento de SMP a 20°C durante 10 días con semillas al 30,3%mcfw, empezaba a germinar. Con valores inferiores al 29,5%mcfw nunca obtuvimos germinaciones con cualquier duración del proceso.

Como el inicio de la FIII a 20°C es entre 2 y 3 días, decidimos que los tratamientos de HP tuvieran una duración máxima de 2,5 días. Elegimos: 35h, 45h y 55h.

En el gráfico 10 se pueden observar las curvas de germinación de los diferentes tratamientos realizados. Todas las pruebas de germinación se realizaron a 20°C estables. Los tratamientos de HP y SMP se realizaron a 20°C. Todos los tratamientos de SMP y HP realizados mejoraron las características de la germinación de manera similar. Siguiendo el orden de tratamientos más óptimos a menos óptimos, describimos las curvas de la gráfico 10:

- HP de 55 horas en RA + secado. La germinación de este tratamiento es entre 1 y 3 días al 90%, frente a la semilla control entre 3 y 10 días al 85%.
- los otros dos tratamientos de HP fueron muy similares, siendo el de 35 horas un poco más lento en germinar.
- SMP con %mcfw=30,1% durante 9 días, obtuvo características similares a los tratamientos de HP.
- tratamientos de SMP con similar %mcfw, pero de duración de 6 y 13 días hizo enlentecer un poco la germinación.
- Podemos concluir que los tratamientos óptimos de priming para *Pinus nigra salzmannii* son:
- HP de 55 horas en RA a 20°C + secado.
- SMP de 9 días con TMC=29,5%mcfw + secado.

Al finalizar el tratamiento de HP de 55 horas se pueden observar las semillas empezando a abrir, con un pequeño bulto blanco (inicio de la elongación de la raíz) al que llamamos G0 (germinación de 0 mm). Secar las semillas en ese estado, no hace morir a las semillas de *Pinus nigra*. Pero lo consideramos demasiado arriesgado. Como las duraciones inferiores de HP estudiadas tienen una mejora similar, recomendamos realizar HP entre 35 y 45 horas, en vez de 55 horas.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 12 y 13)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	6	12	88%
<i>SMP</i>	10/20°C	3	7	98%
<i>control</i>	5/15°C	9	26	86%
<i>SMP</i>	5/15°C	5	12	95%

Las semillas con tratamientos de SMP aumentan considerablemente la velocidad de germinación respecto al control, además de incrementar la germinación total obtenida, tanto a temperaturas óptimas como subóptimas.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráfico 14)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y SMP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan en 3 días, la pregerminación fue de 2,5 días.
- Como las semillas SMP a 20°C germinan en 1 día, la pregerminación fue de 15 horas.
- A 10/20°C (gráfica 12) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) no consiguieron mejorar la germinación, siendo la germinación mucho más lenta comparado con SMP (línea roja). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentó la velocidad respecto al control sin pregerminar (línea azul) pero alcanzó sólo un 67% de germinación.
- A 5/15°C (gráfica 13) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) consiguió adelantar la curva de germinación en 1 días, respecto al SMP sin pregerminar (línea roja). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) adelantó mucho la germinación respecto al control sin pregerminar (línea azul), pero la germinación bajó al 75% .

Debido a las gran variedad de respuestas germinativas al iniciar un proceso germinativo a una temperatura y posteriormente cambiarlo a otra temperatura, decidimos hacer un pequeño estudio como preliminar a los estudios que realizaremos en 2026 sobre cómo afecta a las características de la germinación cambiar la temperatura a mitad del proceso.

Se realizó un SMP al lote de Sierra Mágina con TMC= 29,7% mcfw, duración de 8 días, 20°C y secado. Posteriormente se realizaron tratamientos pregerminativos diversos, con diferentes temperaturas y tiempos para iniciar la pregerminación, para posteriormente pasar las petris a 5/15°C.

La elección de la duración de los tratamientos pregerminativos a cada temperatura derivó del máximo tiempo que podían pasar las semillas a esa temperatura antes de empezar a germinar (se indica en leyenda del gráfico 14).

Las semillas control (con SMP pero sin pregerminación) se muestran con línea violeta. Todos los tratamientos pregerminativos mejoraron la velocidad de germinación, aunque unos más que otros.



Los mejores tratamientos fueron:

- pregerminación a 15°C durante 2 días (línea amarilla).
- pregerminación a 10/20°C durante 1,3 días (línea verde oscuro).

Empezar con frío (4°C) no obtuvo los mejores resultados. Ya sabíamos que a esta especie no le “sienta bien el frío”. Incluso empezar con temperaturas de 10°C y 4,3 días, no mejoró significativamente a las semillas control.

Concluimos la dificultad de prever cómo va a afectar en la velocidad de germinación un cambio de temperatura durante el proceso germinativo. En cada especie y para cada temperatura (esperada en campo) deberemos realizar numerosas pruebas de germinación para encontrar los tratamientos óptimos.

Esto es especialmente relevante en nuestra metodología de siembra en campo (con semillas pregerminadas tras las lluvias), ya que, por ejemplo, podremos sembrar con éxito en una parcela orientada al sur (que se seca muy rápidamente) con una pregerminación a 15°C durante 2 días, pero no con una pregerminación a 10°C durante 4,3 días, debido a que cuando estas últimas empiecen la germinar el suelo ya se habrá secado.

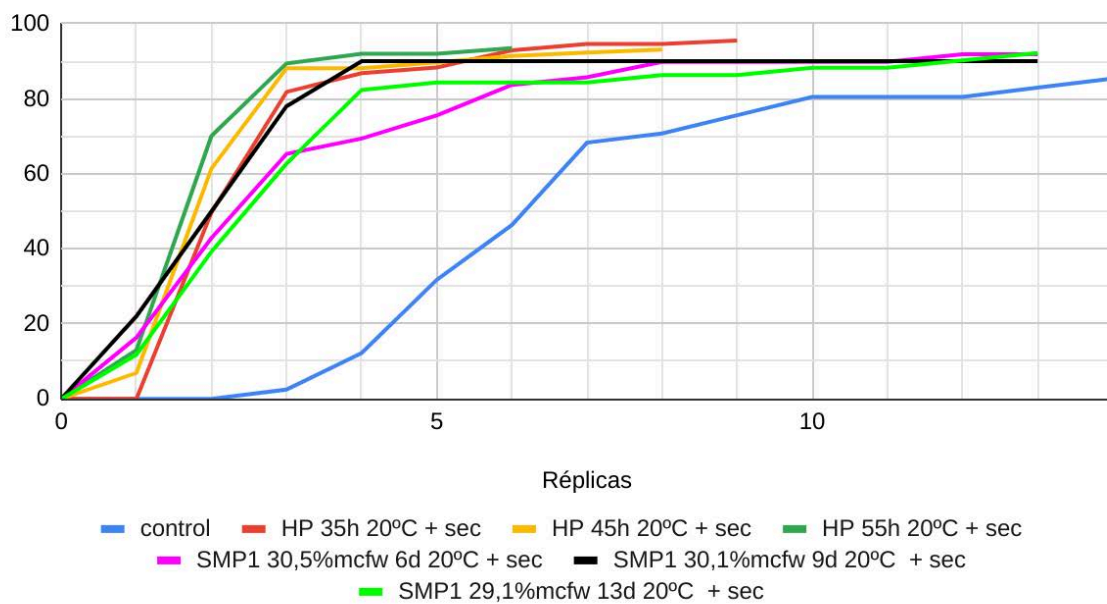
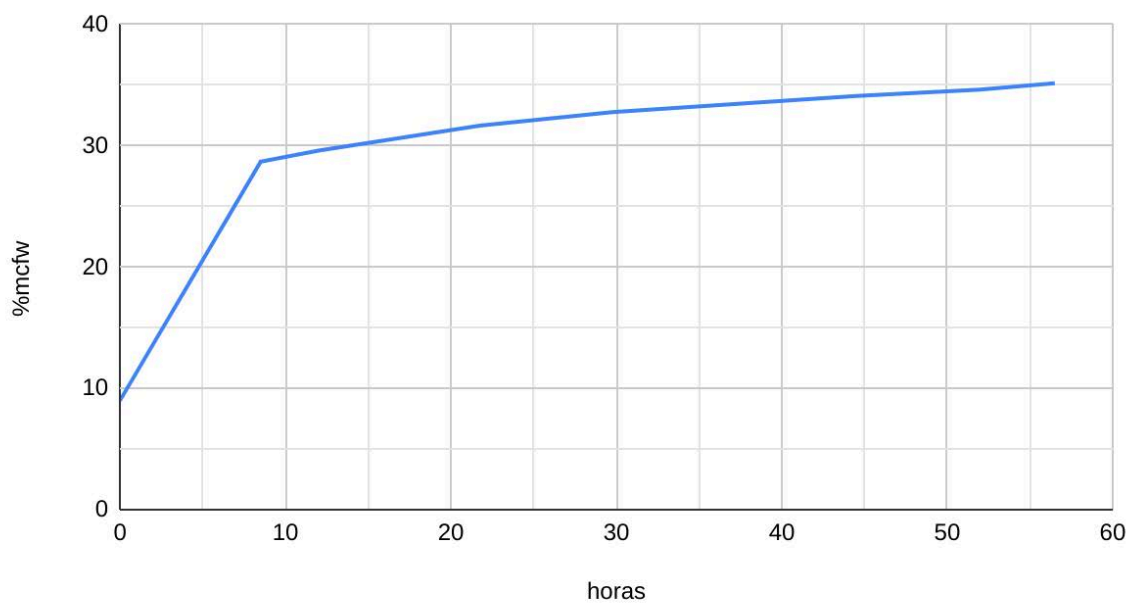
VARIABILIDAD DE LA HUMEDAD DE LAS SEMILLAS AL FINAL DEL TRATAMIENTO DE SMP (gráfico 15)

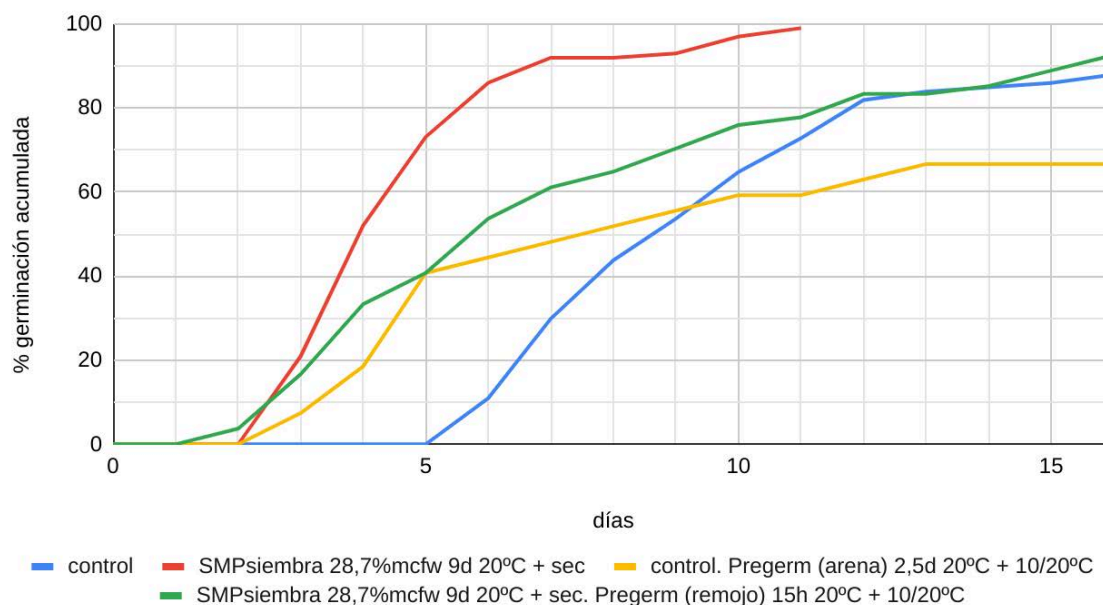
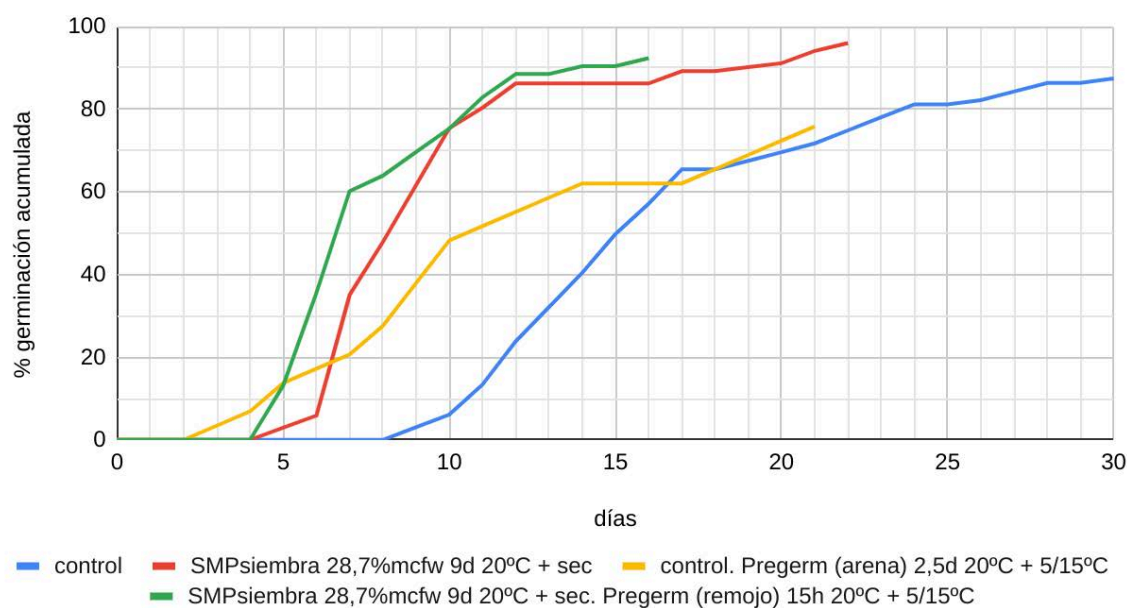
Para comprobar la replicabilidad del método de SMP se realizaron varios tratamientos con las mismas características para observar el %mcfw al cual llegaban las semillas al final del tratamiento. Controlar a qué %mcfw llegan las semillas es determinante en la calidad de las semillas obtenidas. Además se pretendía observar la amplitud de llegada del %mcfw, es decir, la variabilidad de %mcfw de las semillas al final del proceso de SMP.

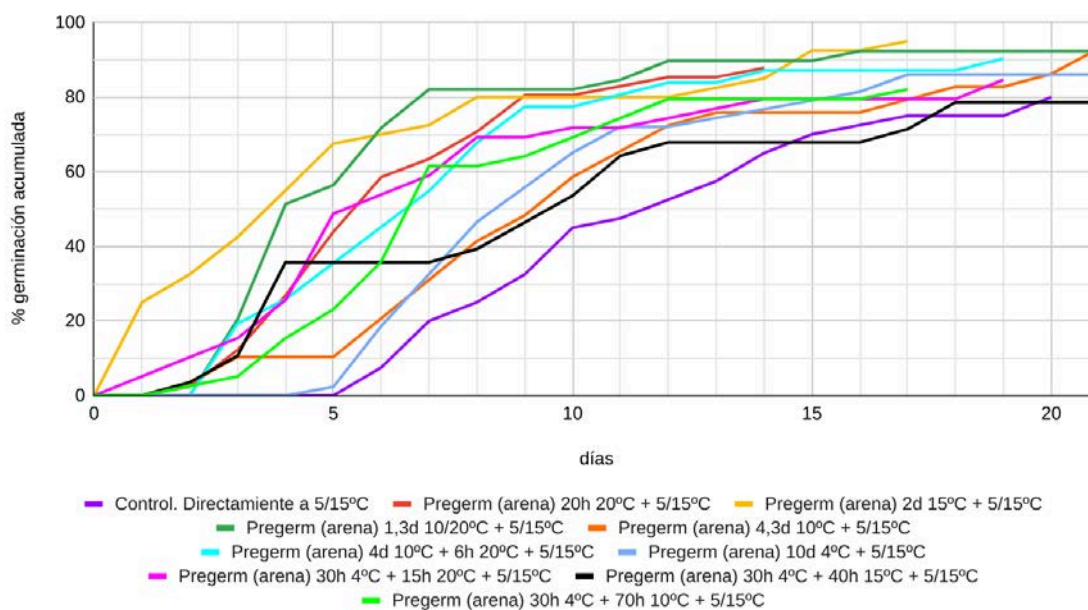
Al lote de Sierra Mágina, se le realizaron 10 tratamientos de SMP con una humedad de la arena (1,4% mcdw) y duración de 7 días. De cada tratamiento se calculó la humedad a 6 réplicas de aproximadamente 0,8 gr de semillas (gráfico 15)

	Media %mcfw inicial (semillas)	%mcdw inicial (arena)	Media %mcfw final (semillas)	Desv. Std. %mcfw final (semillas)
<i>P. nigra salzmannii</i>	6,3%	1,4%	29,9%	0,5%

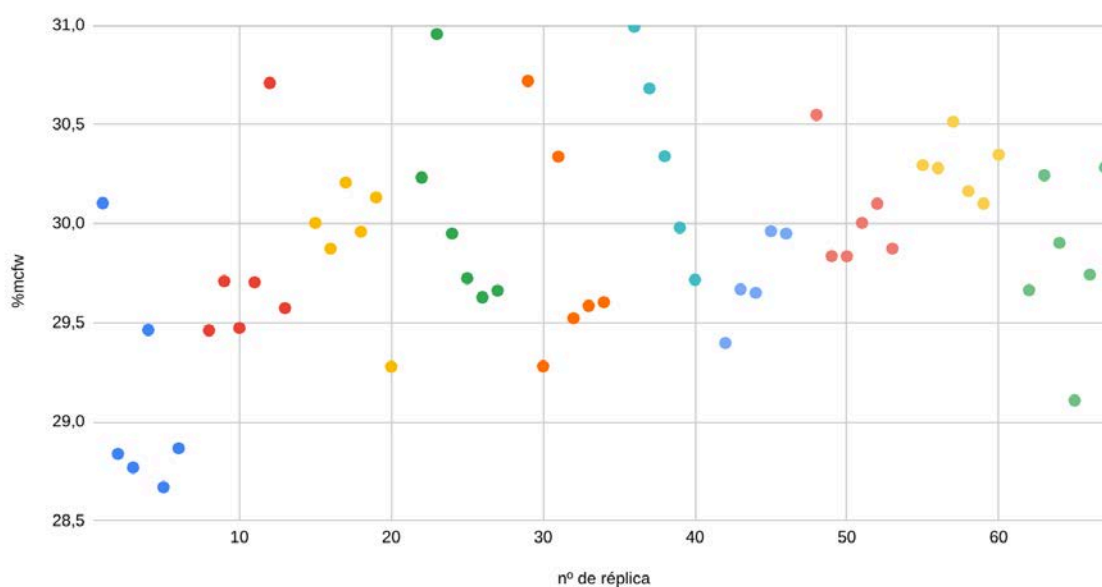


SMP y HP *Pinus nigra salzmannii*. PG a 20°Cgráfico 10: curvas de germinación para *Pinus Nigra Salzmannii*Curva hidratación *Pinus nigra salzmannii*gráfico 11: curva de hidratación para *Pinus Nigra Salzmannii*

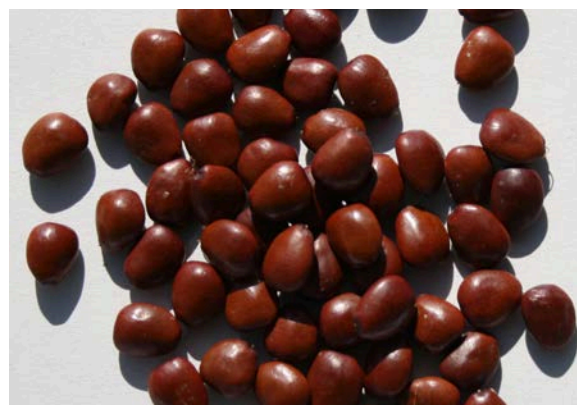
SMP *Pinus nigra salzmannii*. PG a 10/20°Cgráfico 12: curvas de germinación para *Pinus Nigra Salzmannii*SMP *Pinus nigra salzmannii*. PG a 5/15°Cgráfico 13: curvas de germinación para *Pinus Nigra Salzmannii*

Pregerminación de *Pinus nigra* con tratamiento SMPgráfico 14: : curvas de germinación para *Pinus Nigra Salzmannii**Pinus nigra salzmannii*. Variabilidad en %mcfw de las semillas a la salida del SMP.

Desde semillas al 6,3% mcfw inicial, con arena al 1,40% mcdw, durante 7 días.

gráfico 15: variabilidad en el contenido de humedad para *Pinus Nigra Salzmannii* durante SMP

CERATONIA SILIQUA



LOTE

El lote utilizado fue cosechado en la Alpujarra (Soportujar) en 2022. Provenía únicamente de un sólo árbol.

Desde la cosecha y extracción, las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. Para los fines del estudio no fue necesario calcular el contenido de humedad de las semillas.

MEJORA DE LOTE

No se consideró necesaria una mejora del lote, al obtener germinaciones que rondan el 100%.

GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 16)

La temperatura de germinación que utilizamos para todas las pruebas fue de 20°C, a pesar de que a temperaturas más altas germina más rápido, aunque también es más propenso a contaminación por hongos.

Se eligió el tiempo de escarificación con ácido de 90 minutos para todas las pruebas posteriores. Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de 30 semillas.

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>C. siliqua</i>	20°C	60	--	10% 10'	6	8	100%
<i>C. siliqua</i>	20°C	75	--	10% 10'	5	8	100%
<i>C. siliqua</i>	20°C	90	--	10% 10'	4	6	100%



CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 17)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>C.silqua</i> (ácid. 90' + HP2d)	20-25	63%

La curva de hidratación se realizó con semillas con tratamiento de ácido de 90 minutos y tratamiento de HP de 2 días.

Realizamos la prueba en remojo y en arena húmeda para asegurarnos que no había diferencias en la dinámica de hidratación. Para realizar la prueba en arena húmeda tuvimos que tener en cuenta que al tratarse de una semilla grande y que absorbe gran cantidad de agua, la humedad de la arena al inicio del proceso de hidratación debía ser suficiente para garantizar las necesidades de absorción de la semilla. Si normalmente ponemos arena al 11,5% mcdw para semillas tipo pino o aladierno, con el algarrobo debíamos poner la arena al 14% mcdw inicialmente (3:1 vol arena:semilla) para que al final del proceso de hidratación la arena rondara el 9,5% mcdw, ya que, en caso de usar 11,5% mcdw, la disminución de humedad de la arena durante el proceso, haría disminuir la velocidad de hidratación de las semillas.

TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 18)

<i>C. silqua</i> (ácido 90')	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
<i>control</i>	--	--	--	--	--	20°C	4	6	100%
<i>HP óptimo</i>	20°C	2	--	--	--	20°C	1	3	100%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es de 6 días, decidimos usar HP como tratamiento de priming.

Como el tiempo que tardan las semillas con ácido 90 minutos en empezar a germinar es entre 3 y 4 días (entrada en FIII), optamos por realizar HP con RA durante 2 y 3 días, a 20°C.

El tratamiento de HP de 3 días no pudo germinar, debido a que al final del RA las semillas se encontraban con la testa abierta, en ese estado que llamamos G0 (germinación de 0 mm). Cuando se secaron estas semillas tras el RA, éstas ya se encontraban en FIII y, al secarse, murieron.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 19 y 20)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	6	8	100%
<i>HP 2d</i>	10/20°C	4	6	95%
<i>control</i>	5/15°C	15	19	86%
<i>HP 2d</i>	5/15°C	11	16	95%

Aunque la germinación de las semillas con HP germinan muy rápidamente a 20°C, aumentando mucho la velocidad respecto al control, a temperaturas subóptimas el tratamiento de HP no introduce una gran mejora en cuanto a aumento de velocidad de germinación. Intuimos que deberíamos volver a realizar el proceso de HP y la observación de la germinación a temperaturas subóptimas. Es posible que hayamos cometido algún error y los datos no sean correctos. Las incongruencias que veremos en el apartado de los tratamientos pregerminativos también nos llevan a esta conclusión. Esta tarea la realizaremos en 2026.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 19 y 20)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y HP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan en 4 días, la pregerminación fue de 3 días.
- Como las semillas HP a 20°C germinan en 1 día, la pregerminación fue de 20 horas.
- A 10/20°C (gráficos 19) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) consiguió mejorar la germinación de 1 a 4 días, frente a 4 a 6 días en las semillas HP sin pregerminación (línea roja). La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentó mucho más la velocidad respecto al control sin pregerminar (línea azul), pasando de 6 - 8 días a 1 - 3,5 días.
- A 5/15°C (gráficos 20) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) consiguió adelantar la curva de germinación respecto al HP sin pregerminar (línea roja), de 11 - 16 días a 6 - 8,5 días. La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) adelantó mucho la germinación respecto al control sin pregerminar (línea azul), de 15 - 19 días a 3 - 5 días.

Aunque la pregerminación de las semillas HP introducen una mejora sustancial respecto a las semillas HP sin pregerminación, esta mejora es mucho más marcada en las semillas sin HP. Ya comentamos en el apartado anterior que podría haber algún error en el proceso que falsee los datos, y necesitamos repetir el estudio.

Es relevante la prueba que hicimos para chequear la diferencia entre la pregerminación mediante remojo o mediante introducción de las semillas en arena húmeda. Al usar el remojo, la velocidad de germinación se retrasa en casi 1 día. Esto es algo que vamos percibiendo también en otras especies. El tiempo que pasan las semillas en remojo es crítico para no retrasar la germinación. Tenemos la hipótesis de que no se puede realizar un remojo más allá de la duración de la FI de hidratación.



Ceratonia silicua. PG 20°C

Diferentes tiempos de ácido sulfúrico al 96%

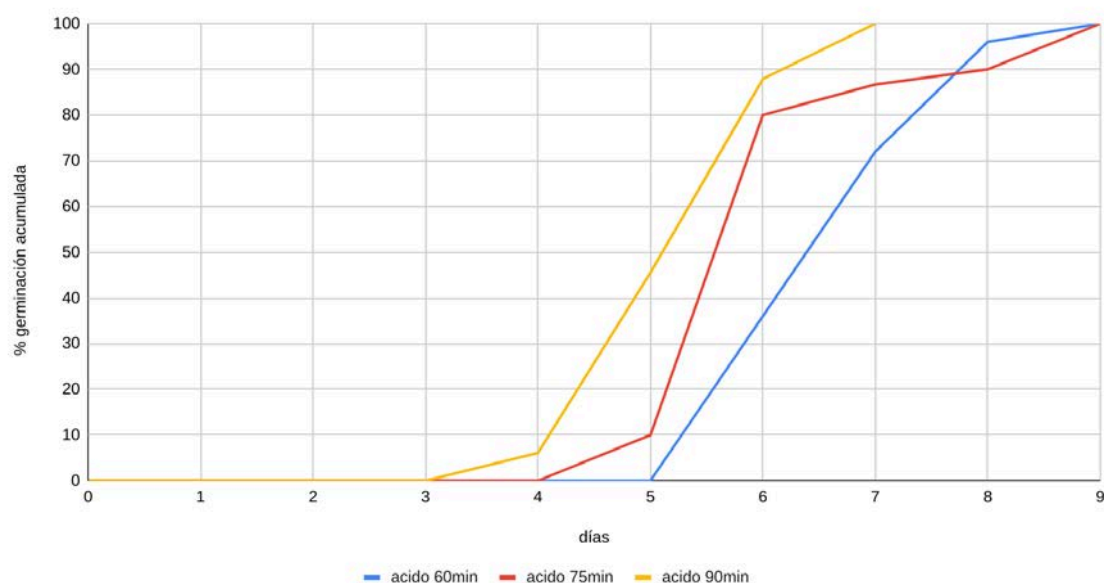


gráfico 16: curvas de germinación para Ceratonia Siliqua

Curva hidratación Ceratonia silicua: ácido + HP

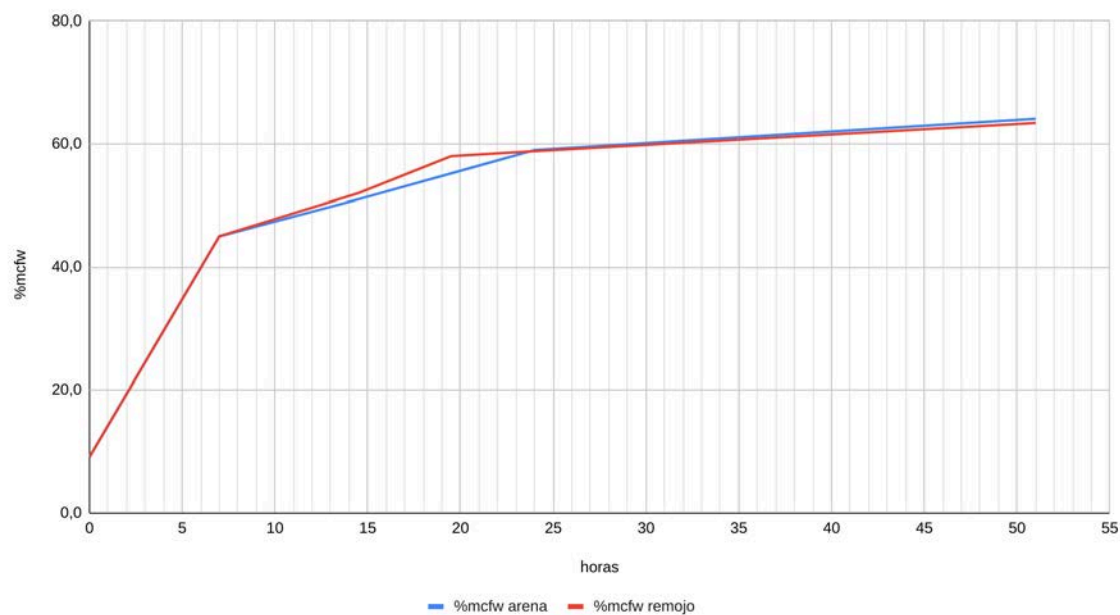
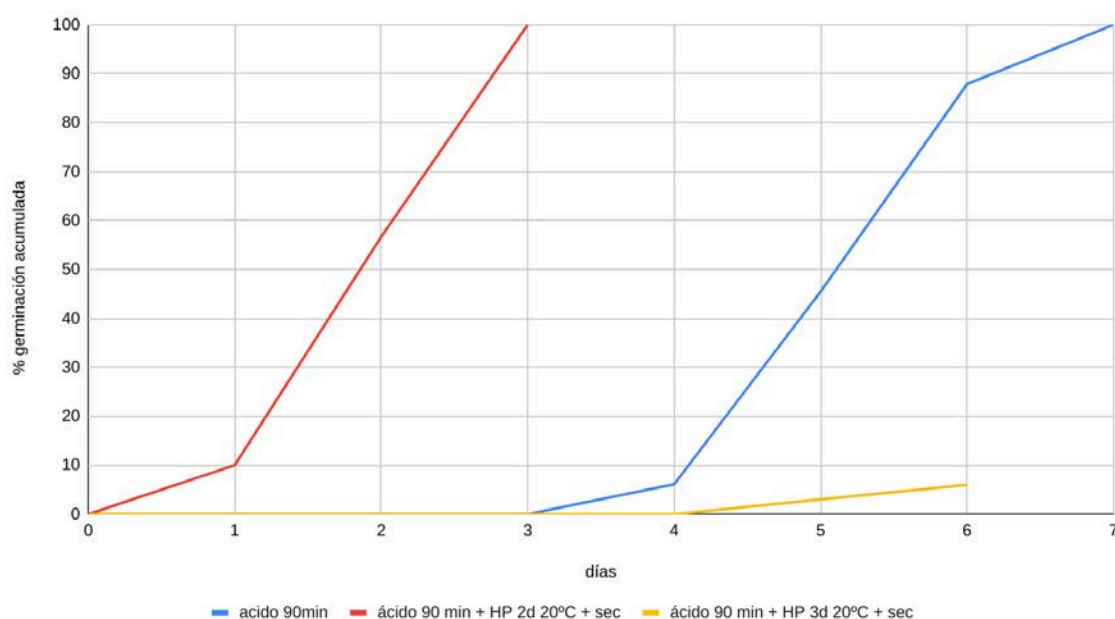
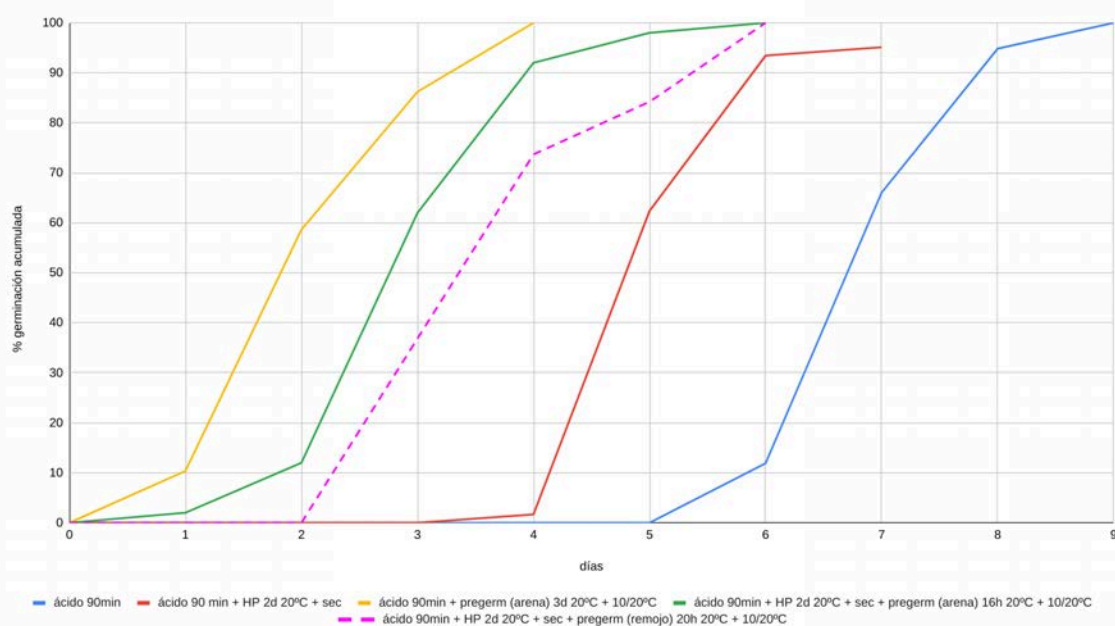
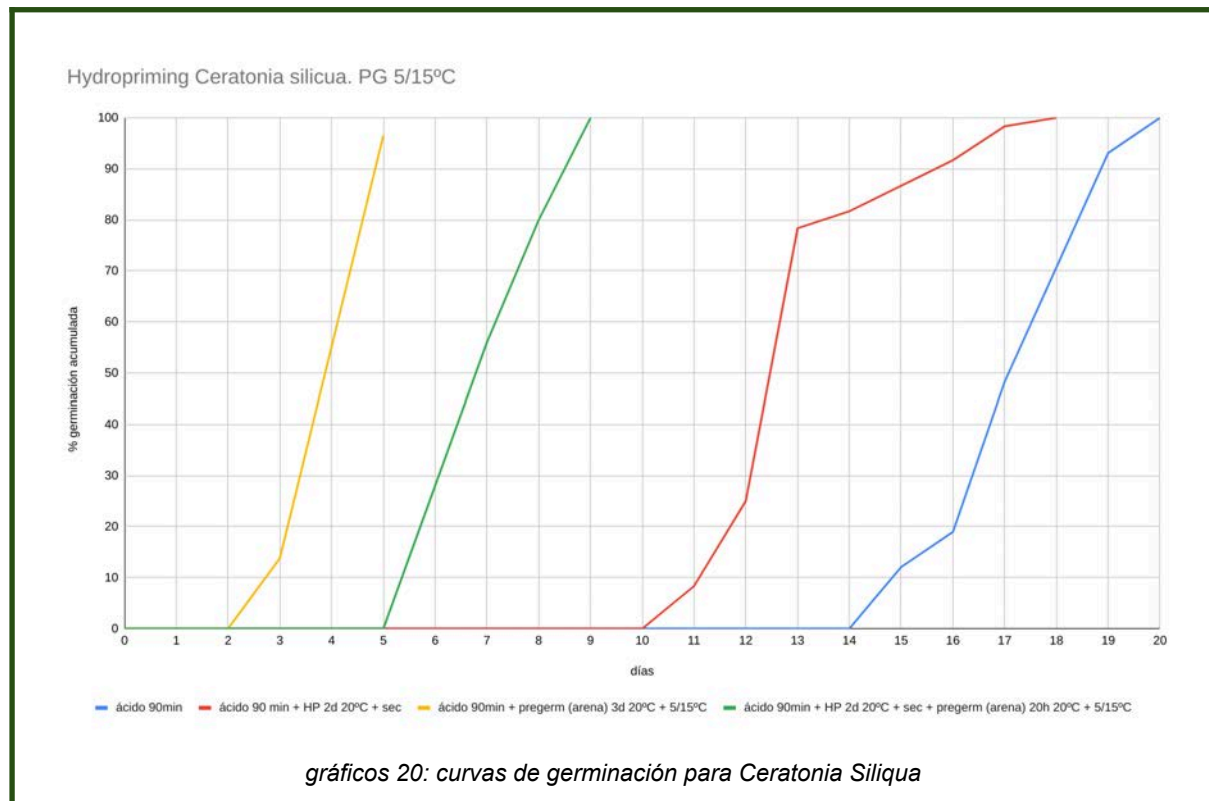


gráfico 17: curva de hidratación para Ceratonia Siliqua



Hydropriming *Ceratonia silicua*. PG 20°Cgráfico 18: curvas de germinación para *Ceratonia Siliqua*Hydropriming *Ceratonia silicua*. PG 10/20°Cgráficos 19: curvas de germinación para *Ceratonia Siliqua*



TETRACLINIS ARTICULATA



LOTE

Se utilizaron diferentes lotes en el estudio. Para las pruebas de HP se utilizó un lote adquirido a Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2024. Las pruebas se realizaron dentro del primer año de almacenamiento. Además de este lote, realizamos pruebas de viabilidad a los siguientes lotes:

- lote procedente de Cartagena, almacenado 3 años
- lote adquirido a Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2023, almacenado 1,3 años por la empresa,
- lote adquirido a Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2024, almacenado 1 año por la empresa y el mismo lote, pero almacenado 1 año por Semillistas.
- lote procedente de Elx, con 2 meses de almacenamiento.

Para el almacenamiento en Semillistas, a cada lote se le minguaba el %mcfw antes de almacenarlo a 4°C. Esto se hacía dejando las semillas 8 horas al aire y la sombra, un día cálido, a unos 25°C y 30%HR. No medimos el %mcfw de almacenamiento. La forma de almacenamiento utilizada por Semillas Cantueso es desconocida. Veremos que es tan crítico para la viabilidad la forma de almacenamiento, que dejamos para 2026 profundizar en ello.

MEJORA DE LOTE

Utilizamos el lote de Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2024, con almacenamiento de 3 meses.

La mejora del lote que utilizamos fue la de poner las semillas a remojo a 20°C durante 24 horas y en ese momento separar las hundidas de las flotantes. En ese momento es necesario agitar las semillas del remojo para eliminar microgotas de aire pegadas a las semillas y que las semillas acaben de hundirse bien.

	hundidas en 24h	flotantes en 24h
Cantidad de semillas	55%	45%
Germinación	92%	17%
Semillas viables descartadas	8%	--

Esta mejora del lote, como veremos más adelante, se aplica directamente al proceso de HP. Por ello, no fue necesario secar de nuevo las semillas tras la separación en hundidas y flotantes, y podemos conservar el lote madre intacto hasta que se realizan los tratamientos de priming.



GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 21)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>T. articulata</i> (Cartagena 3 años almacenamiento)	20°C	--	--	10% 10'	8	10	22%
<i>T. articulata</i> (Cultivo 2024, 3 meses alm)	20°C	--	hundidas 24h	10% 10'	3	10	92%
<i>T. articulata</i> (Cultivo 2024, 3 meses alm)	20°C	--	flotantes 24h	10% 10'	5	6	17%
<i>T. articulata</i> (Cultivo 2024, 1 año alm en Semillistas)	20°C	--	hundidas 24h	10% 10'	4	11	90%
<i>T. articulata</i> (Cultivo 2024, 1 año alm en Cantueso)	20°C	--	--	10% 10'	7	13	43%
<i>T. articulata</i> (Elx, 2 meses alm)	20°C	--	hundidas 24h	10% 10'	3	17	62%

Se muestran los datos sobre diferentes lotes y tiempos de almacenamiento, ya que es una especie que pierde rápidamente la viabilidad (gráfico 21).

El lote de Cartagena, con 3 años de almacenamiento, apenas tuvo germinaciones. En el lote almacenado durante 1 año en la empresa Semillas Cantueso, también la germinación fue muy reducida. Pero ese mismo lote, el de cosecha 2024, fue adquirido por Semillistas a finales de 2024 y almacenado a %mcfw bajo. Derivamos el almacenamiento a %mcfw bajo fue la causa del mantenimiento de la viabilidad de ese lote. La curva de germinación de este lote almacenado 1 año en las instalaciones de Semillistas es similar a su germinación tras la cosecha.

El lote procedente de Elx, a pesar de estar recién cosechado, tuvo una viabilidad menor que el resto de lotes, es decir, el % máximo de germinación sólo llegó al 60%, comparado con el 90% para el lote de Semillas Cantueso del 2024. Es posible que sea una cuestión de lotes de diferentes procedencias.

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 25 y 50 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 22)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>T. articulata</i> HP 2d	20-25	50%

Realizamos la prueba en remojo y en arena húmeda al 11,5% mcdw, para asegurarnos que no había diferencias en la dinámica de hidratación.



TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 23)

<i>T. articulata</i> (hundidas en 24h)	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control	--	--	--	--	--	20°C	3	10	92%
HP óptimo	20°C	3	--	--	--	20°C	2	4	83%

Utilizamos el lote de Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2024, con almacenamiento de 3 meses.

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es alrededor de 10 días, decidimos usar HP como tratamiento de priming.

Como el tiempo que tarda la germinación clásica en empezar a germinar es alrededor de 3 días (entrada en FIII), optamos por realizar HP en RA 3 días, a 20°C. El secado del proceso de HP se acercó demasiado a la entrada en FIII y tuvo una pequeña consecuencia, que comentaremos más adelante.

El tratamiento de HP se inició en RA a 20°C. A las 24 horas se extraían las semillas del RA y se separaban las hundidas y las flotantes. Las flotantes se descartaban y las hundidas seguían en RA 2 días más, para luego secarlas.

El tratamiento de HP de 3 días (gráfica 23) dió como resultado un aumento de la velocidad de germinación, aunque el porcentaje máximo de germinación se redujo. Esta reducción se debe, seguramente, al hecho de haberse acercado demasiado al inicio de la FIII en el momento de secar tras HP, ya que las semillas a 20°C germinan un 6% en 3 días (germinaciones de 2 mm), y ese fue el tiempo que permanecieron en el RA. Esto tiene como consecuencia la muerte de todas las semillas que durante el RA entrarán en FIII.

Como conclusión para este lote, decir que deberíamos haber realizado el HP con duración de 2,5 días de RA, a 20°C, para obtener una velocidad similar, pero sin reducción del porcentaje de germinación máximo.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 24 y 25)

<i>C.siliqua</i> (ácid. 90°)	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
control	10/20°C	12	26	72%
HP 2d	10/20°C	6	13	92%
control	5/15°C	26	37	77%
HP 2d	5/15°C	14	16	90%

Utilizamos el lote de Semillas Cantueso procedente de cultivo en Sierra Morena, con cosecha en 2024, con almacenamiento de 1 año. Este lote, con este tiempo de almacenamiento, inicia la germinación en 4 días, un poco más lento que el mismo lote almacenado 3 meses, que lo hacía en 3 días. Se podrá observar en los gráficos que al realizar el HP con 3 días de duración, en esta ocasión, no disminuye el porcentaje máximo de germinación, debido a que cuando secamos las semillas todavía no han entrado en FIII.

El tratamiento de priming propuesto aumenta considerablemente la velocidad de germinación a temperaturas subóptimas, además de mantener el porcentaje de germinación máximo en el mismo nivel que al germinaciones a 20°C.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 24 y 25)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y HP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan en 3 días, la pregerminación fue de 2 días.
- Como las semillas HP a 20°C germinan en 2 días, la pregerminación fue de 1 día.

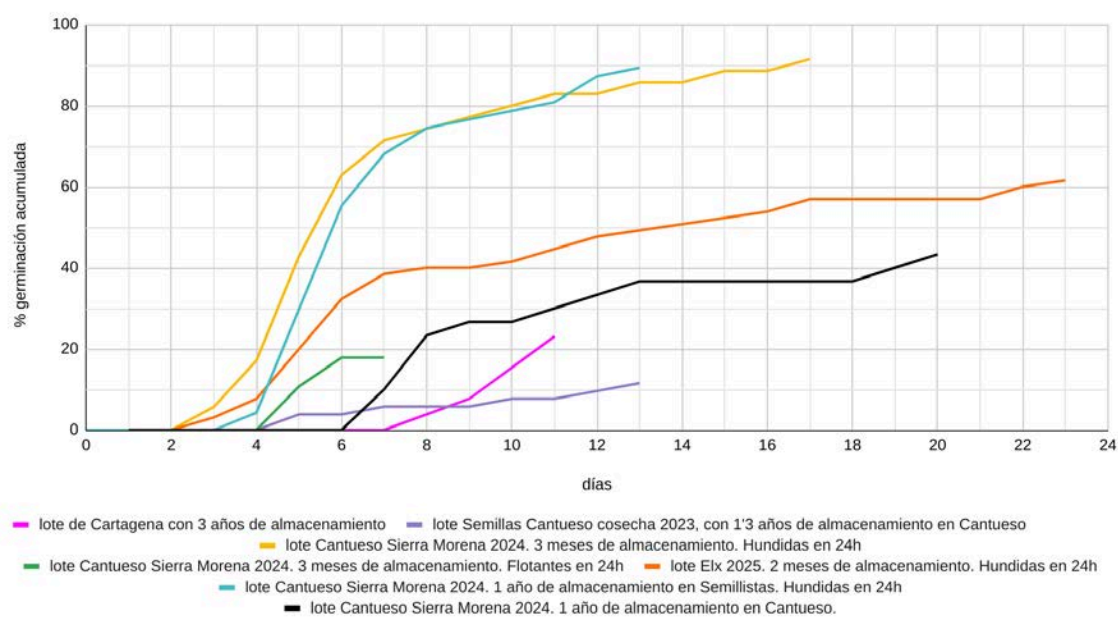
Hay que considerar que las semillas control tuvieron 1 día de remojo para retirar las flotantes y luego, para las hundidas se montaron las petris correspondientes. En el caso del control sin pregerminar el remojo fue a 10/20°C ó 5/15°C, y el tiempo 0 en el gráfico corresponde al inicio del remojo. En el caso del control pregerminado, como ya hemos comentado para todas las pruebas pregerminadas, el remojo fue de 1 día a 20°C, más 1 día en arena, para luego pasar a 10/20°C o 5/15°C, siendo el momento del tránsito a temperaturas subóptimas el considerado como tiempo 0 en el gráfico (que corresponde con la emulación de la siembra en campo).

- A 10/20°C (gráfica 24) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) no consiguió mejorar la velocidad de la germinación respecto a las semillas HP sin pregerminación (línea roja), e incluso, redujo el porcentaje máximo de germinación del 90% al 80%. La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentó un poco la velocidad respecto al control sin pregerminar (línea azul), pasando de 8 - 13 días a 5 - 13 días, y un porcentaje de germinación ligeramente superior.
- A 5/15°C (gráfica 25) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) consiguió adelantar la curva de germinación respecto al HP sin pregerminar (línea roja), de 7 - 16 días a 2 - 14 días, con el mismo porcentaje de germinación máxima. La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) adelantó ligeramente la germinación respecto al control sin pregerminar (línea azul), de 16 - 38 días a 12 - 35 días.

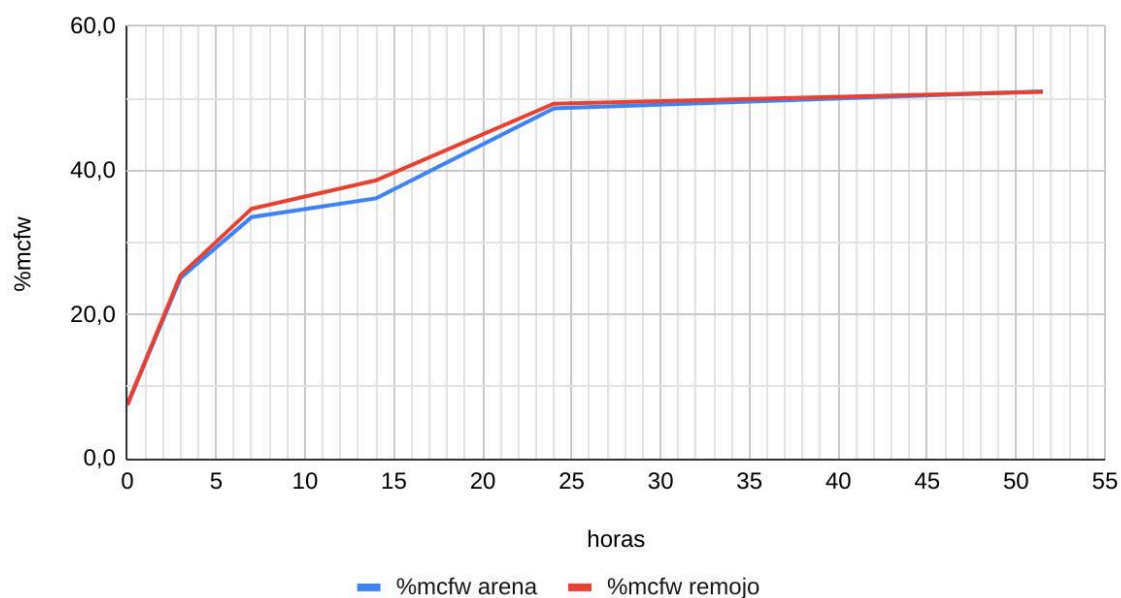
La pregerminación a 20°C no introduce mejoras al llevar las petris a 10/20°C y una pequeña mejora al pasar a 5/15°C. Es posible que debamos buscar otras temperaturas de pregerminación para optimizar el proceso.

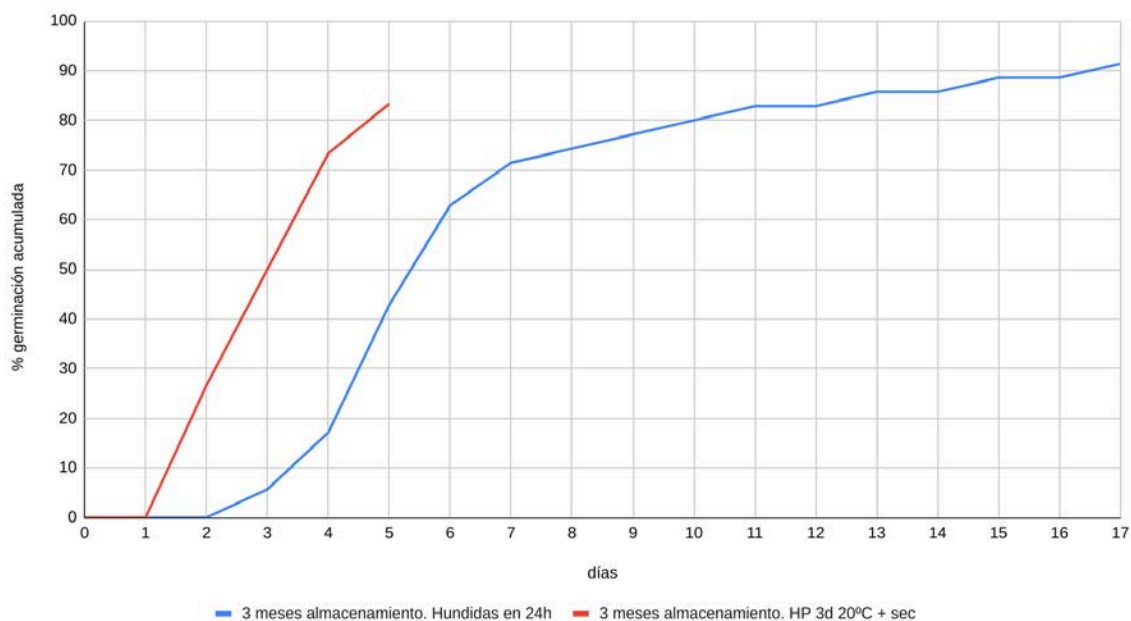
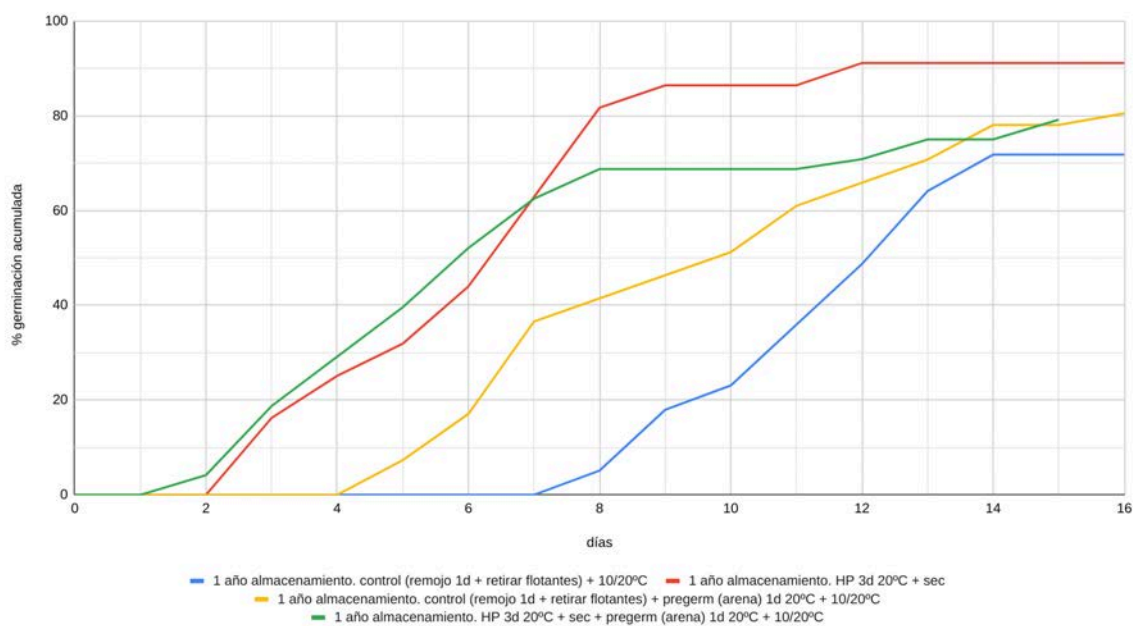


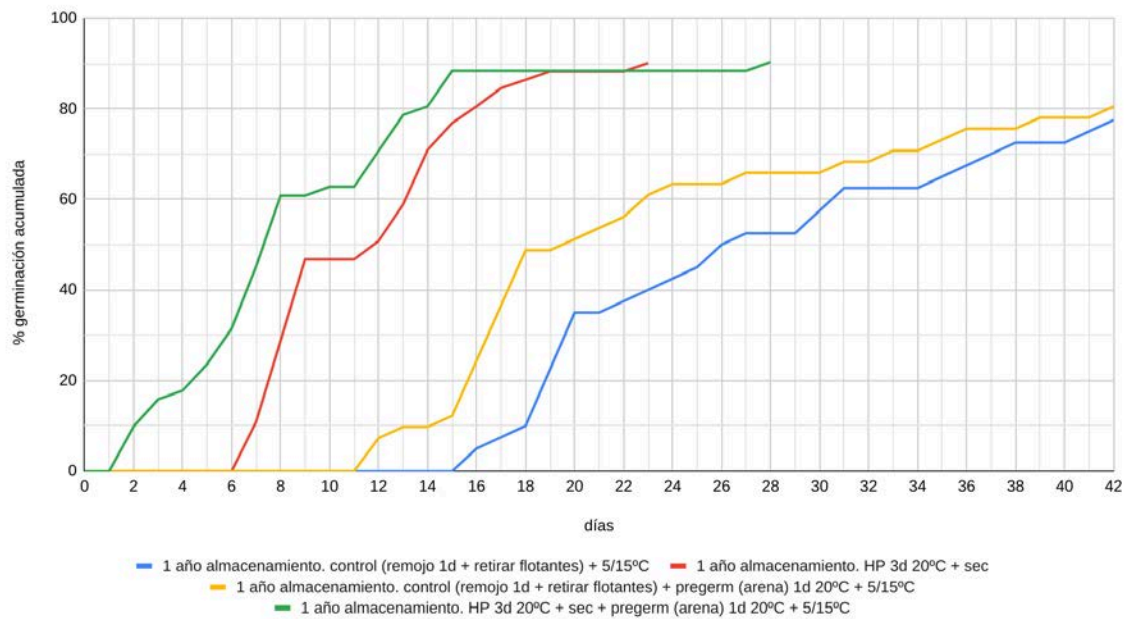
Tetraclinis articulata. PG 20°C

gráfico 21: curvas de germinación para *Tetraclinis articulata*

Curva hidratación Tetraclinis articulata

gráfico 22: curva de hidratación para *Tetraclinis articulata*

Hydropriming *Tetraclinis articulata*. PG a 20°Cgráfica 23: curvas de germinación para *Tetraclinis articulata*Hydropriming *Tetraclinis articulata*. PG 10/20°Cgráfica 24: curvas de germinación para *Tetraclinis articulata*

Hydropriming *Tetraclinis articulata*. PG 5/15°Cgráfica 25: curvas de germinación para *Tetraclinis articulata*

RHAMNUS ALATERNUS



LOTE

El lote utilizado se cosechó en la Alpujarra, entre Órgiva y Pitres, en 2023, de unos 30 pies.

Durante el proceso de estudio las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. El contenido de humedad de las semillas del lote madre fue del 4,9% mcfw.

Para las pruebas de mejora del lote se utilizó un lote de la misma procedencia mencionada pero de cosecha de 2022.

También se estudió el tratamiento de priming óptimo de un lote procedente de Sierra Mijas en 2025, que cosecharon los compañeros de WWF Málaga, a los que les estábamos impartiendo una formación.

MEJORA DE LOTE

Estas pruebas se realizaron con un lote cosechado en la Alpujarra en 2022.

Se utilizó la técnica de descarte de las semillas flotantes después de pasar un tiempo determinado en remojo a 20°C.

	todas las semillas	hundidas en 11h	hundidas entre 11h y 20h	flotantes a las 20h
Cantidad de semillas	100%	53,6%	21,8%	24,6%
Germinación	42%	72%	19%	0%
Semillas viables descartadas	--	4%	0%	--

La mejora del lote utilizada para el lote del 2023, fue la de obtener las hundidas tras 10 horas de remojo a 20°C. De esta manera el lote obtenido germinaba hasta el 92%. Tras el remojo las semillas se volvían a secar a un %mcfw bajo (5%) para almacenamiento.



GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 27)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Rhamnus alaternus</i>	20°C	--	Hundidas en 10h	60% 15'	9	23	92%

La intensidad de desinfección no fue suficiente para disminuir la contaminación de hongos durante las pruebas de germinación. Hasta un 10-15% de las semillas de cada petri podían desarrollar hongos durante la prueba de germinación. Creemos que estas semillas son aquellas que tienen escasa o nula viabilidad, y que durante el proceso germinativo se movilizan microorganismos endógenos que el "sistema inmunitario" de la semilla no puede hacer frente. Por esta razón no aumentamos más la intensidad de desinfección. Si lo hiciéramos sería más costoso eliminar los restos de lejía de la superficie de las semillas y eso afectaría a la germinación.

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 45 y 55 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 26)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>Rhamnus alaternus</i>	3-4	32%



TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 27 y 28)

<i>Rhamnus alaternus</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control- Alpujarra	--	--	--	--	--	20°C	9	23	92%
SMP óptimo - Alp.	20°C	36	32%	27%	26%	20°C	4	15	85%
control- Mijas	--	--	--	--	--	20°C	9	41	70%
SMP óptimo - Mij.	20°C	36	?	?	26%	20°C	5	25	78%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es 23 días, se propuso realizar tratamientos de SMP, en vez de HP.

La temperatura del proceso de SMP fue de 20°C. El %mcfw durante la FII es 32%. Observamos que un tratamiento de SMP a 20°C durante 20 días con semillas al 28%mcfw, empezaba a germinar. Con valores inferiores al 27%mcfw nunca obtuvimos germinaciones.

En la gráfica 27 se pueden observar las curvas de germinación de los diferentes tratamientos realizados. Todas las pruebas de germinación se realizaron a 20°C estables. Todos los tratamientos de SMP realizados mejoraron las características de la germinación, aunque unos tratamientos mejor que otros. El tratamiento más óptimo (línea negra) germina a 20°C entre 4 y 15 días, en comparación con la semilla control, que lo hace entre 9 y 23 días. Así, definimos el tratamiento óptimo de SMP para el aladierno con TMC= 26%mcfw y Duración=36 días. El tratamiento de 26%mcfw y duración 29 días, quedó cerca en cuanto a igualar las mejoras del tratamiento óptimo. Todos los demás tratamientos de SMP tuvieron una velocidad de germinación que quedó en el punto medio del óptimo y del control. Es el caso de las líneas rosa, roja, amarilla y verde oscuro, con %mcfw cercanos al 24-25% e independiente de la duración del tratamiento.

Esta especie es muy propensa a desarrollar hongos durante las pruebas de germinación en laboratorio. Por esta razón necesitamos desinfectar con una concentración de lejía alta. La variación del porcentaje máximo de germinación entre todas las pruebas del gráfico 27 es debido a un porcentaje diferente de hongos en cada prueba de germinación en las petris.

Comparación de tratamientos de priming en dos lotes de diferente procedencia

Se comparó el lote de la Alpujarra de 2023 con el lote de Sierra Mijas de 2025 (gráfico 28). Al lote de Mijas se le aplicó la misma mejora del lote que al lote de la Alpujarra (eliminar flotantes tras 10 horas y secar).

La germinación estándar de Mijas fue mucho más lenta que la de la semilla de la Alpujarra (Mijas entre 9 y 41 días; Alpujarra entre 9 y 23 días). El porcentaje máximo de germinación también fue menor en Mijas (70% frente a 92%)

Aplicamos parámetros similares para el tratamiento de SMP de Mijas: 24% y 26%mcfw y duraciones de 36 y 43 días. Los tres tratamientos que se realizaron obtuvieron resultados similares en cuanto al mejoramiento de la semilla, aunque, como en el caso del lote de la Alpujarra, el tratamiento con %mcfw=26% funcionó mejor.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 29 y 30)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
control	10/20°C	16	30	92%
SMP	10/20°C	7	24	86%
control	5/15°C	38	61	73%
SMP	5/15°C	14	36	83%

Las semillas con tratamientos de SMP aumentan considerablemente la velocidad de germinación respecto al control a temperaturas subóptimas.

Curva hidratación Rhamnus alaternus

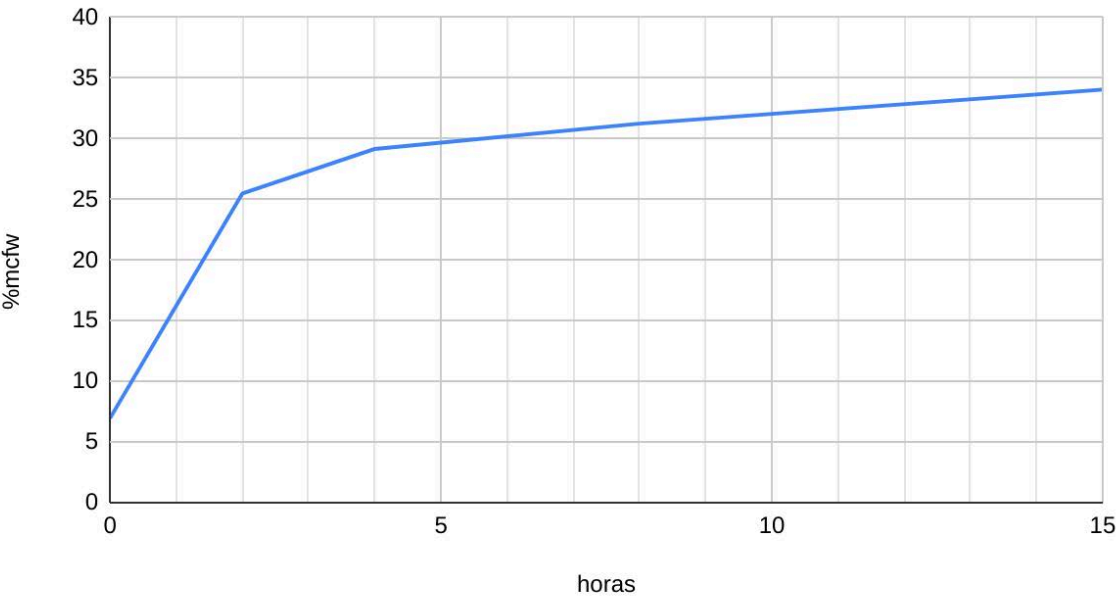
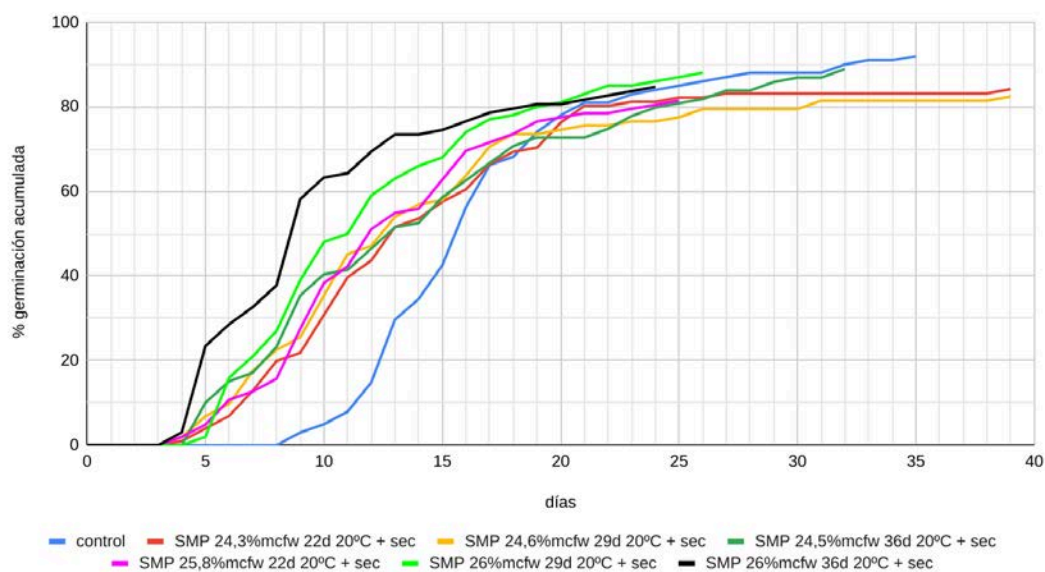
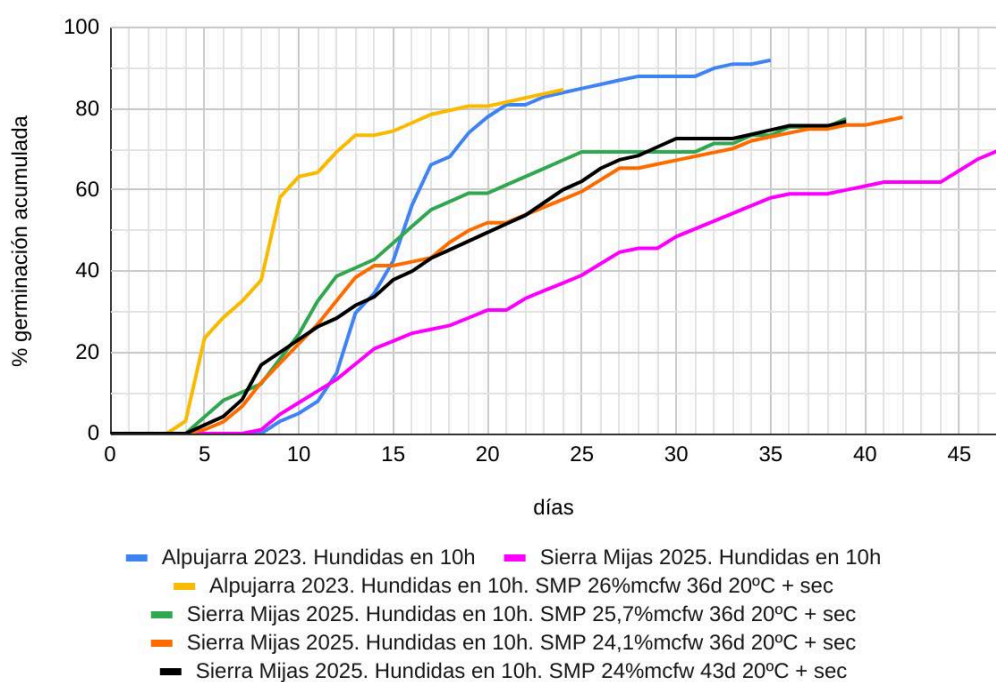


gráfico 26: curva de hidratación para Rhamnus alaternus

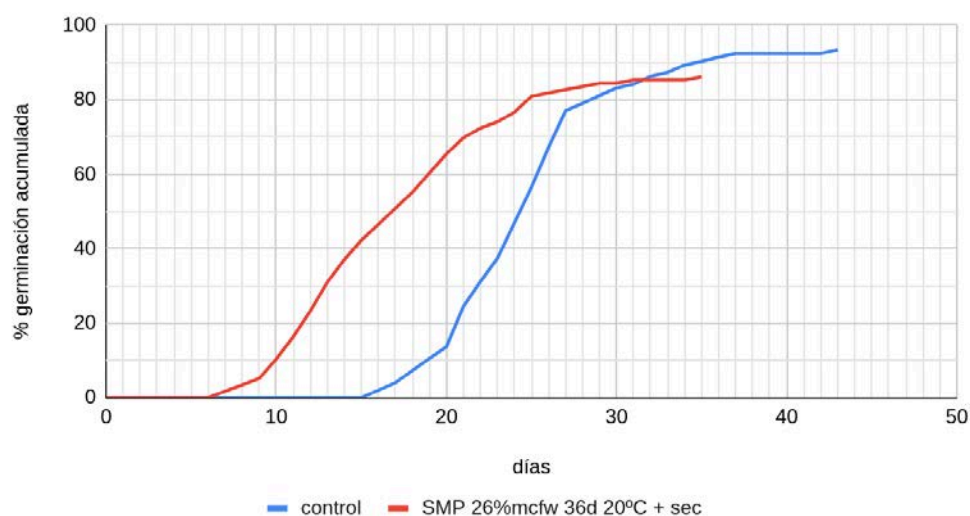


SMP *Rhamnus alaternus*. PG a 20°Cgráfico 27: curvas de germinación para *Rhamnus alaternus*Comparación de lotes de *Rhamnus alaternus*

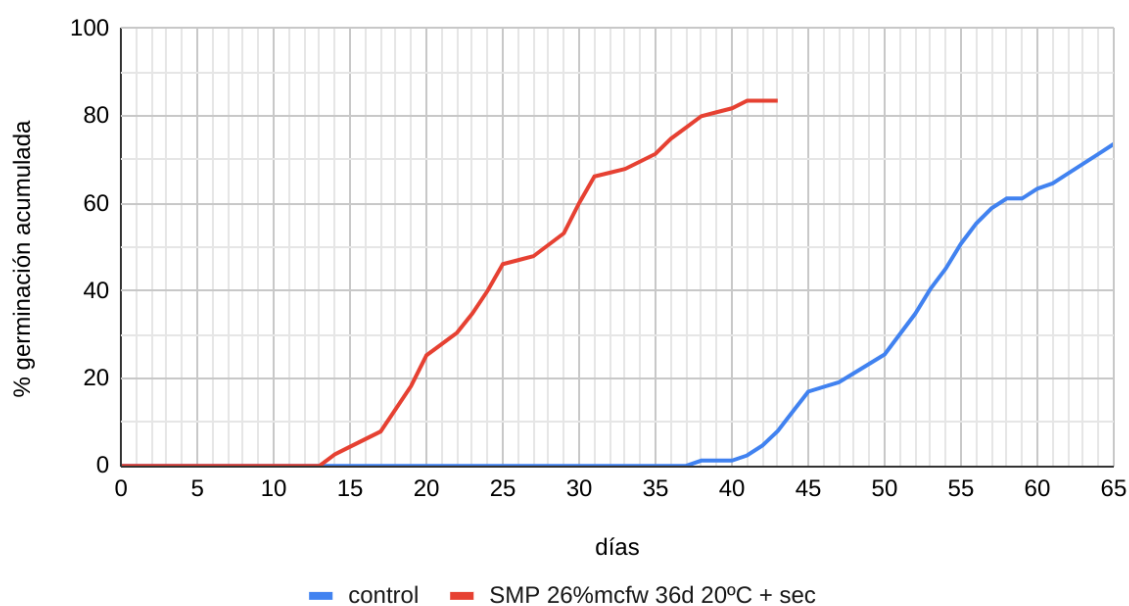
PG a 20°C de semillas control y SMP

gráfico 28: curvas de germinación para *Rhamnus alaternus*

SMP Rhamnus alaternus. PG a 10/20°C

gráfica 29: curvas de germinación para *Rhamnus alaternus*

SMP Rhamnus alaternus. PG a 5/15°C

gráfica 30: curvas de germinación para *Rhamnus alaternus*

RHAMNUS LYCIOIDES



LOTE

El lote utilizado se adquirió a Semillas Cantueso en 2023. La semilla procede de la Sierra de Baza.

Durante el proceso de estudio las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. En 2024, se realizó una mejora del lote (hundidas en 10 horas), tras el cual las semillas se secaron y almacenaron con un contenido de humedad del 6% mcfw hasta que se realizaron los estudios en 2025.

MEJORA DE LOTE

Se utilizó la técnica de descarte de las semillas flotantes después de pasar un tiempo determinado en remojo a 20°C.

	hundidas en 10h	hundidas entre 10h y 20h	flotantes a las 20h
Germinación	78%	25%	20%

Por un error durante el proceso, no se pudo registrar el peso de cada tratamiento y no tenemos los datos del % de semillas en cada uno de ellos.

La mejora del lote utilizada fue la de obtener las hundidas tras 10 horas de remojo a 20°C. De esta manera el lote obtenido germinaba hasta el 78%. Tras el remojo las semillas se volvían a secar a un %mcfw bajo (6%) para almacenamiento. El almacenamiento de estas semillas, con la mejora del lote, no perdió características de viabilidad al menos hasta 1,5 años después del tratamiento de mejora del lote.



GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 32)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Rhamnus lycioides</i>	20°C	--	Hundidas en 10h	40% 15'	4	19	78%

El porcentaje de semillas que desarrollaron hongos durante las pruebas de germinación estuvo en torno al 10-15%. Observamos que tras los tratamientos de SMP, había semillas que se oscurecían y que después, durante una prueba de germinación, desarrollaban hongos. Entendemos que son semillas de escasa o nula viabilidad, que no se pudieron eliminar durante el proceso de mejora del lote.

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 40 y 50 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 31)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>Rhamnus lycioides</i>	3-5	35%

TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 32)

<i>Rhamnus lycioides</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
<i>control</i>	--	--	--	--	--	20°C	4	19	78%
<i>SMP óptimo</i>	20°C	14	35%	29,5%	28,5%	20°C	2	6	85%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es 19 días, se propuso realizar tratamientos de SMP, en vez de HP.

La temperatura del proceso de SMP fue de 20°C. El %mcfw durante la FII es 36%. Observamos que un tratamiento de SMP a 20°C durante 21 días con semillas al 29,5%mcfw, empezaba a germinar. Con valores inferiores al 29%mcfw nunca obtuvimos germinaciones.

En el gráfico 32 se pueden observar las curvas de germinación de los diferentes tratamientos realizados. Todas las pruebas de germinación se realizaron a 20°C estables. Todos los tratamientos de SMP realizaron mejoraron las características de la germinación, aunque unos tratamientos mejor que otros.

El tratamiento más óptimo, línea negra, germina a 20°C entre 2 y 6 días, en comparación con la semilla control, que lo hace entre 4 y 19 días. Así, definimos el tratamiento óptimo de SMP para el espino negro con TMC = 28,5%mcfw y Duración = 14 días.

El tratamiento con TMC = 29,3%mcfw y Duración = 17 días, tuvo una germinación un poco más rápida que nuestro óptimo, pero el porcentaje de germinación fue menor. Esto pudo ser debido a encontrarse demasiado cerca del límite del %mcfw al cual germinan las semillas (29,5%mcfw y 21 días), y, por tanto, algunas semillas habrían muerto al secarse, tras la finalización del SMP, por encontrarse en FIII.

Todos los demás tratamientos de SMP tuvieron una velocidad de germinación menor que el tratamiento óptimo, aunque siempre mejoraron al control. Esto ocurrió al utilizar un TMC más bajo de 28,5% y/o una duración del tratamiento más alta.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 33 y 34)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	9	25	78%
<i>SMP</i>	10/20°C	5	12	73%
<i>control</i>	5/15°C	20	49	74%
<i>SMP</i>	5/15°C	9	21	80%

El tratamiento de SMP que se utilizó para estas pruebas no fue el tratamiento óptimo de SMP. Se usó un SMP con TMC=27,8% mcfw y duración=21 días. Como se puede observar en el gráfico 32, este tratamiento no alcanza las mejoras del óptimo a 20°C, aunque sí introduce mejoras en la germinación respecto a la semilla control. La razón por la que utilizamos este tratamiento “no óptimo” fue la falta de disponibilidad de semilla y que de este tratamiento sí teníamos suficientes semillas para realizar las pruebas de germinación relativas a las temperaturas subóptimas y la pregerminación.

Las semillas con tratamientos de SMP aumentan considerablemente la velocidad de germinación respecto al control a temperaturas subóptimas. Y, lo que es muy interesante, estas mejoras se producen aunque el tratamiento de SMP no sea el óptimo. Esto hace que se disponga de bastante margen para el error al realizar tratamientos de SMP dirigidos a la siembra en campo.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 33 y 34)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y SMP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

Para estas pruebas de pregerminación ajustamos al máximo el tiempo de pregerminación al tiempo T0 a 20°C (primeras semillas con 2 mm).

- Como las semillas control a 20°C germinan entre 4 días, la pregerminación fue de 4 días.
- Como las semillas SMP a 20°C germinan entre 2 y 3 días, la pregerminación fue de 2,5 días.
- A 10/20°C (gráfica 33) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) consiguieron adelantar la curva de germinación en algo más de 1 día, llegando a porcentajes de germinación similares a las semillas sin pregerminación (línea roja). La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) empezó a germinar antes que la semilla control sin pregerminar (línea azul), pero germinó lentamente y el porcentaje máximo de germinación se redujo al 53%.
- A 5/15°C (gráfica 34) la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) no introdujo ningún cambio respecto a las semillas SMP sin pregerminación (línea roja). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentó en 4-5 días la velocidad respecto al control sin pregerminar (línea azul), pero alcanzó sólo el 57% de germinación.

La pregerminación de semillas a 20°C, para luego ser trasladadas a temperaturas subóptimas, no introduce beneficios en *Rhamnus lycioides*. Será necesario estudiar otras formas de pregerminación para esta especie.



Curva hidratación *Rhamnus lycioides*

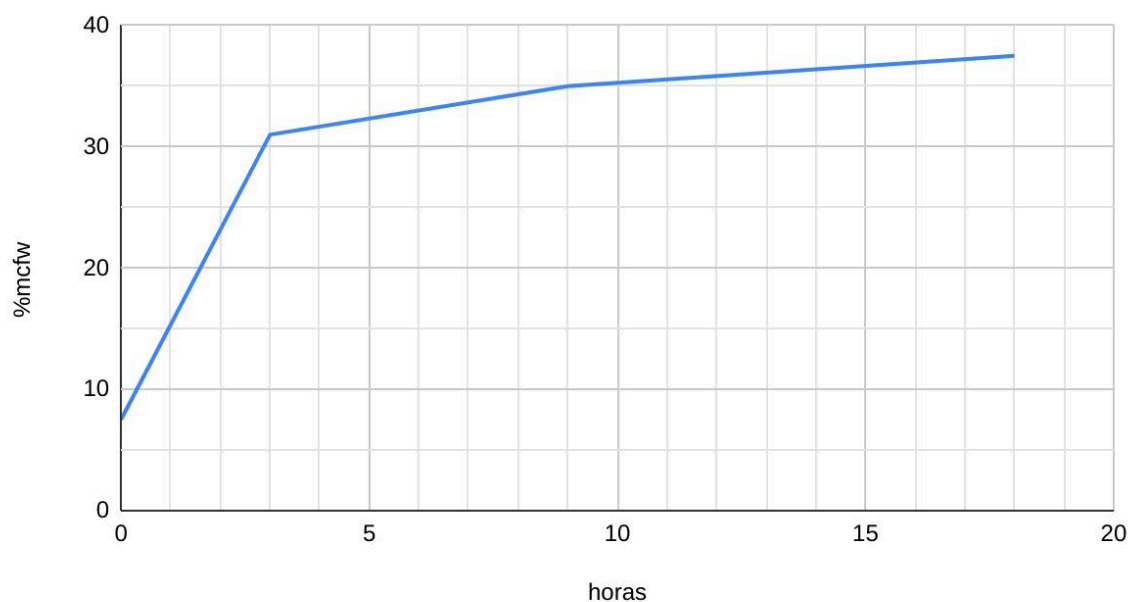


gráfico 31: curva de hidratación para *Rhamnus lycioides*

SMP *Rhamnus lycioides*. PG a 20°C

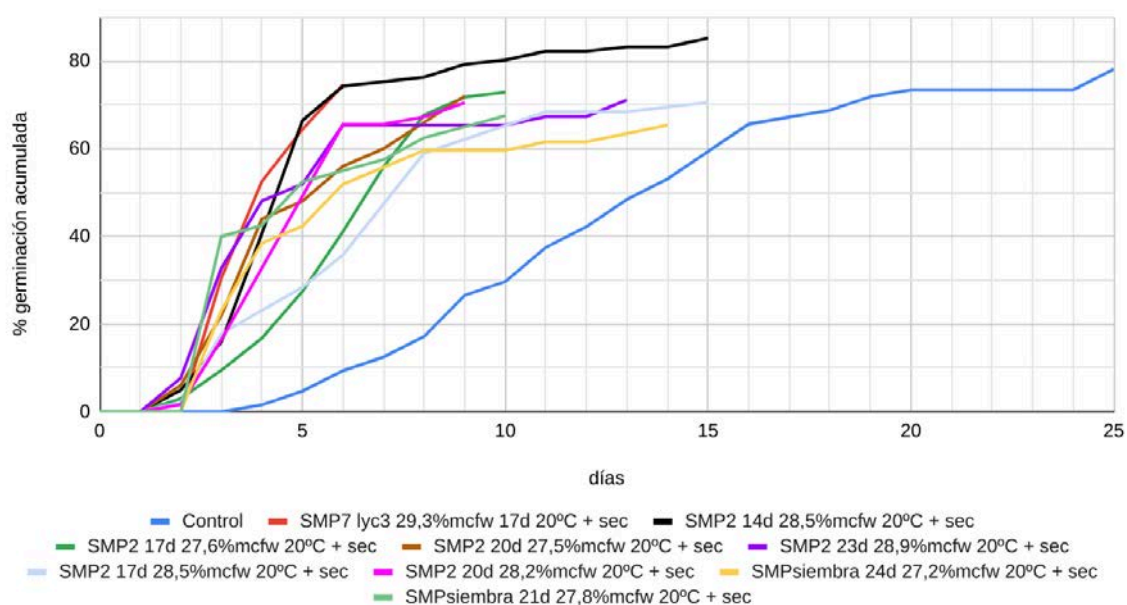
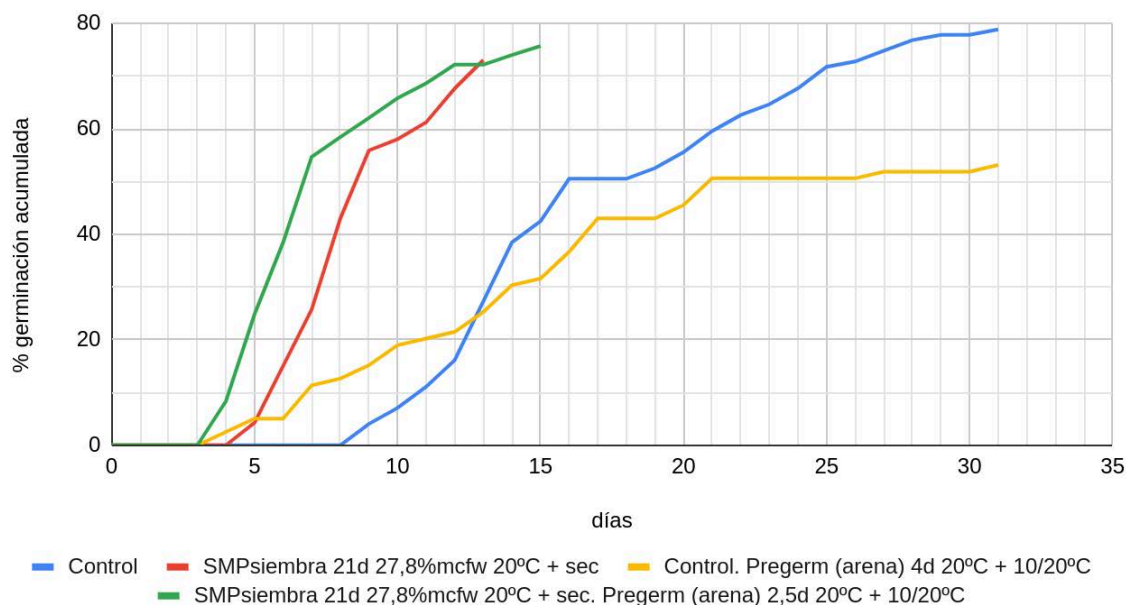
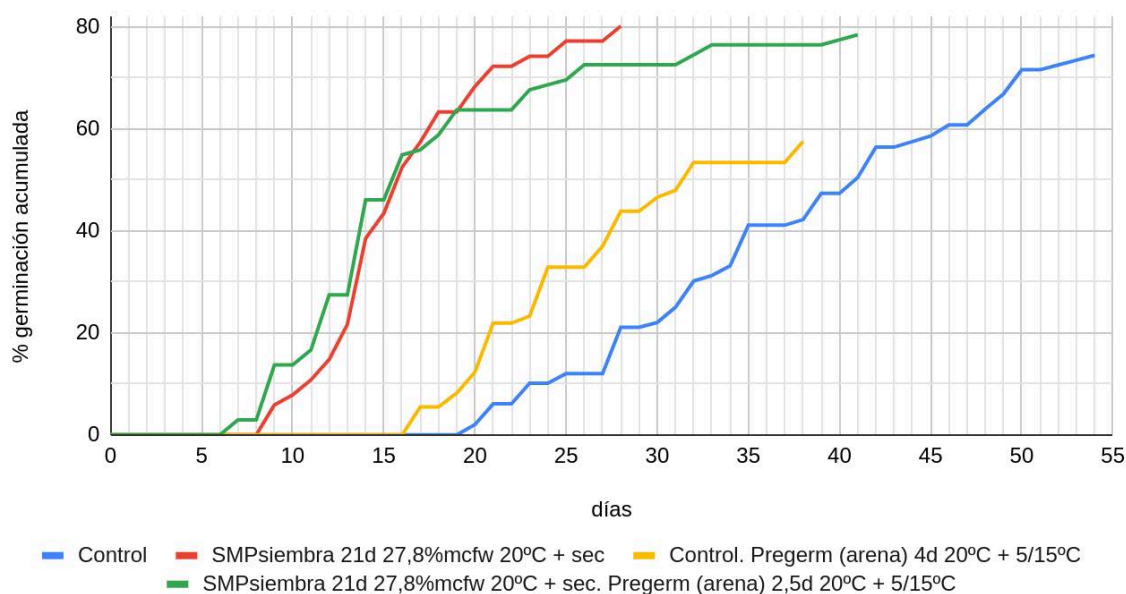


gráfico 32: curvas de germinación para *Rhamnus lycioides*



SMP *Rhamnus lycioides*. PG a 10/20°Cgráfica 33: curvas de germinación para *Rhamnus lycioides*SMP *Rhamnus lycioides*. PG a 5/15°Cgráfica 34: curvas de germinación para *Rhamnus lycioides*

PISTACIA LENTISCUS



LOTE

El lote utilizado se cosechó en Sierra Lújar en 2023.

Para la curva de hidratación se usó un lote del mismo lugar de cosecha, pero de 2021.

Durante el proceso de estudio las semillas se almacenaron primero en recipientes herméticos a 4°C. Antes de realizar el estudio en 2025, se realizó una mejora del lote (hundidas en 0 horas), tras el cual las semillas se secaron y almacenaron con un contenido de humedad alrededor del 7% mcfw.

Durante la extracción, tras la cosecha, se retiraron los frutos flotantes (color rojo), ya que en su mayoría contienen semillas vanas.

MEJORA DE LOTE

Se utilizó la técnica de descarte de las semillas flotantes después de pasar un tiempo determinado en remojo a 20°C.

	control	hundidas en 0h	hundidas entre 0h y 2,5h	flotantes a las 2,5h
Cantidad de semillas	100%	34%	40%	26%
Germinación	72%	94%	87%	22%
Semillas viables descartadas	--	35%	6%	-

Por motivos logísticos, tuvimos que empezar el estudio de priming con las semillas hundidas en 0 horas. El almacenamiento de estas semillas (7% mcfw) pierde viabilidad tras 1 año, por lo que es necesario almacenar el lote madre (cosecha) e ir realizando mejoras del lote poco a poco.

GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 36)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Pistacia lentiscus</i>	20°C	--	Hundidas en 0h	30% 15'	5	14	94%

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 50 y 60 semillas.



CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 35)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>Pistacia lentiscus</i>	15-20	32%

TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 36)

<i>Pistacia lentiscus</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
<i>control</i>	--	--	--	--	--	20°C	5	14	94%
<i>SMP óptimo</i>	20°C	19	32%	30,1%	29%	20°C	2	8	96%
<i>HP</i>	20°C	4	--	--	--	20°C	4	11	90%

Debido a que el tiempo de finalización de la germinación clásica es 14 días, se propuso realizar tratamientos de SMP, aunque se realizaron unos tratamientos de HP para comparar.

La temperatura del proceso de SMP fue de 20°C. El %mcfw durante la FII es 32%. Observamos que un tratamiento de SMP a 20°C durante 21 días con semillas al 30,1%mcfw, empezaba a germinar. Valores inferiores al 30%mcfw nunca obtuvieron germinaciones.

El tratamiento más óptimo (línea roja) germina a 20°C entre 2 y 8 días hasta el 96%, en comparación con la semilla control, que lo hace entre 5 y 14 días, hasta el 92%. Así, definimos el tratamiento óptimo de SMP para el lentisco con TMC = 29%mcfw y Duración = 19 días.

El tratamiento con %mcfw=31,4% y 16 días, aunque superara el máximo %mcfw para obtener germinaciones durante el tratamiento, a los 16 días no tenía todavía germinaciones. Este tratamiento y el tratamiento con %mcfw=29,2%mcfw y 16 días, tuvieron un comportamiento similar al óptimo.

El resto de tratamientos SMP, con duraciones mayores de 19 días, apenas tenían beneficios respecto al control.

Los tratamientos de HP mejoraron muy poco las características de la germinación respecto al control.

El margen en los parámetros del tratamiento de SMP del lentisco, para obtener un mejoramiento de las semillas, es menor que en otras especies. Es una especie que seguramente necesite que dichos parámetros se ajusten para cada lote.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 37 y 38)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	7	23	90%
<i>SMP</i>	10/20°C	6	12	80%
<i>control</i>	5/15°C	14	43	90%
<i>SMP</i>	5/15°C	9	22	83%

Las diferencias entre los porcentajes máximos de germinación se deben a la proliferación de hongos en las pruebas de germinación, es decir, no es efecto del priming.

Podemos observar, que si bien las semillas con SMP mejoran la velocidad de germinación a temperaturas subóptimas, esta mejora no es tan fuerte como en otras especies.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 37 y 38)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y SMP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan en 5 días, la pregerminación fue de 3 días.
- Como las semillas SMP a 20°C germinan en 2 días, la pregerminación fue de 1,5 días.
- A 10/20°C (gráfico 37) tanto la pregerminación de las semillas SMP (línea verde) como la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) empeoraron las características germinativas de las semillas sin pregerminar.
- A 5/15°C (gráfico 38) lo mismo sucedió con la pregerminación de las semillas SMP (línea verde). En cambio, la pregerminación de las semillas control (línea amarilla) no empeoró, pero no introdujo ningún beneficio significativo.

La pregerminación de semillas a 20°C durante un tiempo, para luego ser trasladadas a temperaturas subóptimas, no introduce beneficios en *Pistacia lentiscus*. Será necesario estudiar otras formas de pregerminación para esta especie.



VARIABILIDAD DE LA HUMEDAD DE LAS SEMILLAS AL FINAL DEL TRATAMIENTO DE SMP (gráfico 39)

Para comprobar la replicabilidad del método de SMP se realizaron varios tratamientos con las mismas características para observar el %mcfw al cual llegaban las semillas al final del tratamiento. Controlar a qué %mcfw llegan las semillas es determinante en la calidad de las semillas obtenidas. Además se pretendía observar la amplitud de llegada del %mcfw, es decir, la variabilidad de %mcfw de las semillas al final del proceso de SMP.

Al lote de Sierra Lujar de 2023 (hundidas 0 horas), se le realizaron 8 tratamientos de SMP con diferentes cantidades de humedad de en arena (1,4%, 1,25% y 1,10% mcdw) y diferentes duraciones del tratamiento (21, 28 y 35 días). De cada tratamiento se calculó la humedad a 6 réplicas de aproximadamente 0,8 gr de semillas. Pueden observarse los datos de los tratamientos en la tabla inmediata y el gráfico 39.

	Media %mcfw inicial (semillas)	%mcdw inicial (arena)	Media %mcfw final (semillas)	Desv. Std. %mcfw final (semillas)
<i>Pistacia lentiscus</i>	7,6%	1,4%	30,7%	0,5%
<i>Pistacia lentiscus</i>	7,6%	1,25%	29%	0,6%
<i>Pistacia lentiscus</i>	7,6%	1,1%	27,4%	0,3%

Con humedad inicial del 1,4% mcdw, las semillas germinaron durante el tratamiento, al encontrarse a %mcfw superiores al 30% mcfw. El %mcfw medido al final de este tratamiento se calculó para las semillas no germinadas.

Estos datos nos muestran el grado de control que se puede obtener con los tratamientos de SMP con un medio de arena. Con la metodología que empleamos podemos lanzar una semilla a la humedad que queramos con un error de $TMC \pm 1\%$ mcfw, que es suficiente para garantizar que todas las semillas de un tratamiento obtienen el mismo tipo de beneficio y para garantizar que, al repetir el tratamiento con un nuevo grupo de semillas, las semillas obtenidas obtendrán los beneficios esperados.



Curva hidratación Pistacia lentiscus

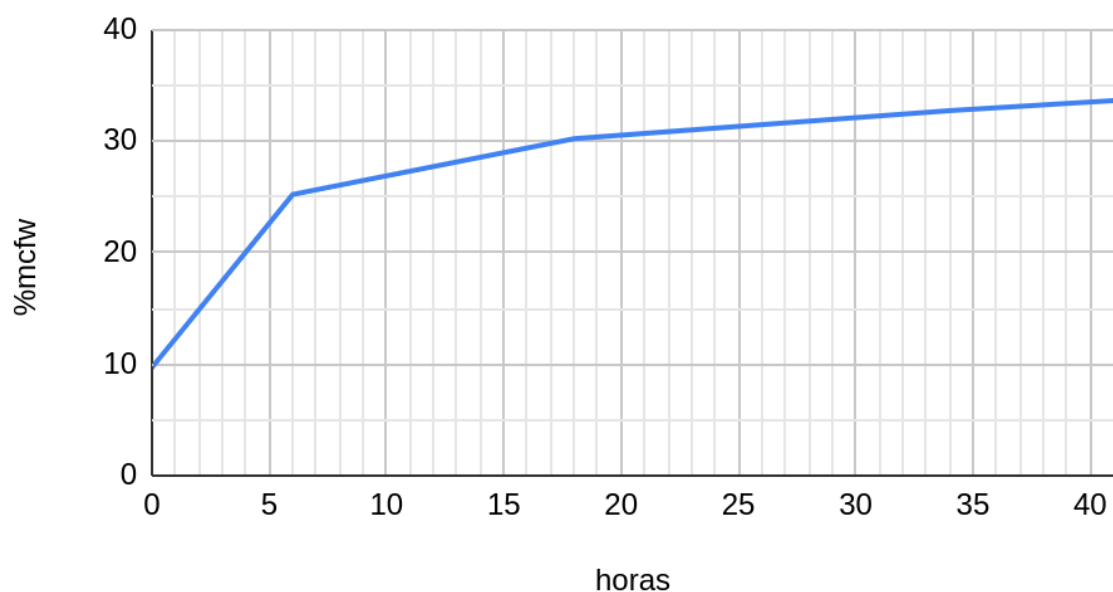


gráfico 35: curva de hidratación para *Pistacia lentiscus*

SMP y HP Pistacia lentiscus. PG a 20°C

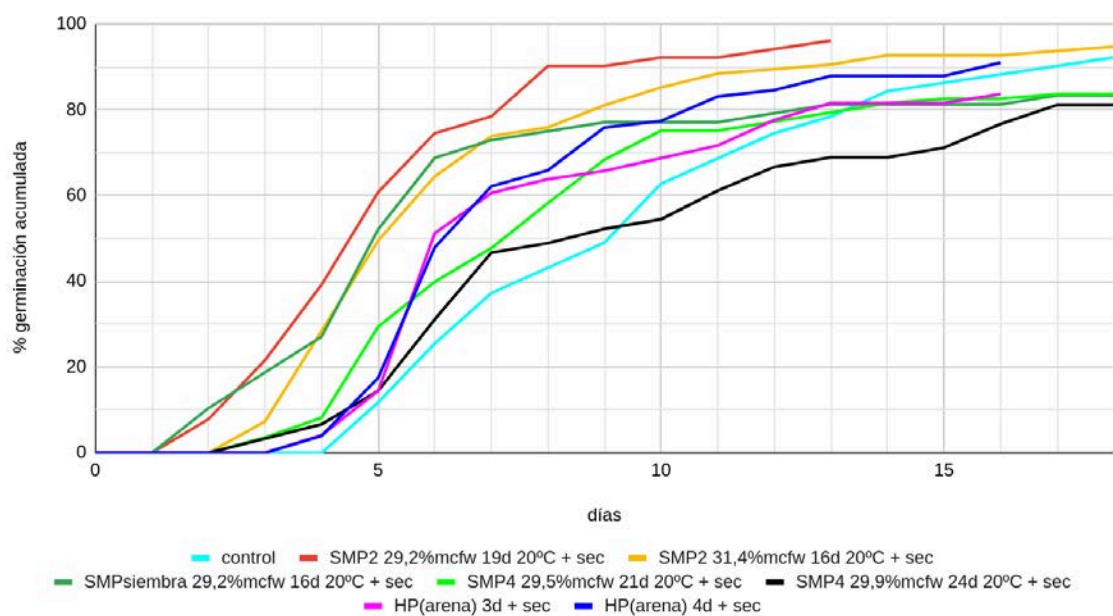
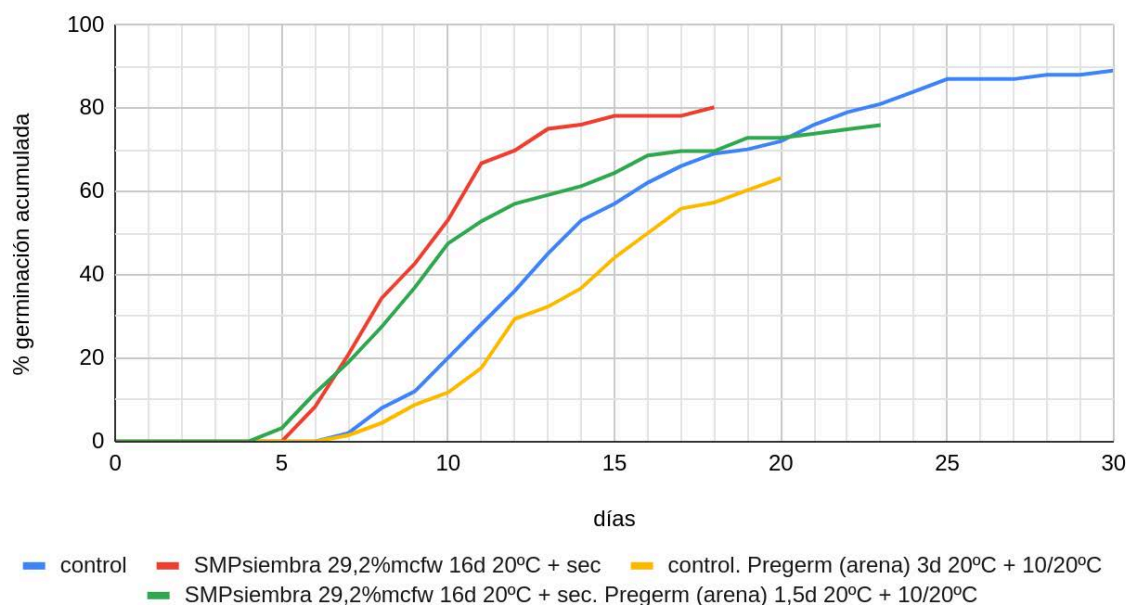
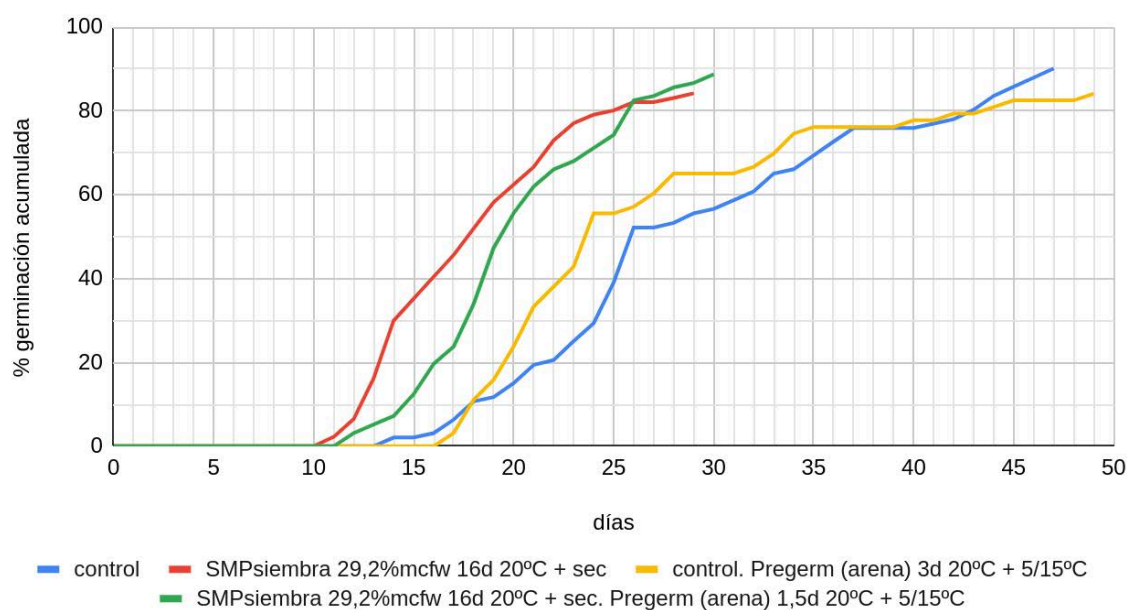


gráfico 36: curvas de germinación para *Pistacia lentiscus*



SMP *Pistacia lentiscus*. PG a 10/20°Cgráfico 37: curvas de germinación para *Pistacia lentiscus*SMP *Pistacia lentiscus*. PG a 5/15°Cgráfico 38: curvas de germinación para *Pistacia lentiscus*

Pistacia lentiscus. Variabilidad en %mcfw de las semillas a la salida del SMP.

Desde semillas al 7,6%mcfw inicial, con arena al 1,40%mcfw (izquierda), 1,25%mcfw (centro) y 1,10%mcfw (derecha). La leyenda indica el número de días de tratamiento hasta que se mide la humedad de las semillas.

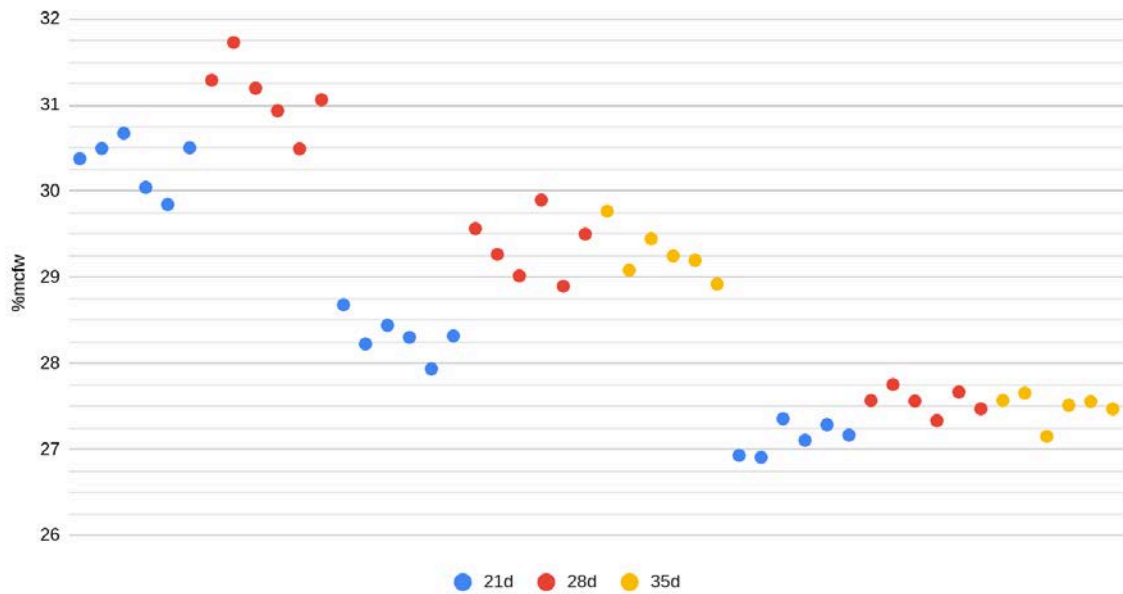


gráfico 39: variabilidad en el contenido de humedad para *Pistacia lentiscus* durante SMP

RETAMA SPHAEROCARPA



LOTE

El lote utilizado fue cosechado en la Alpujarra (Pitres) en 2023.

Desde la cosecha, las semillas se almacenaron en sacos de papel en almacén. La extracción de la semilla de la vaina seca se realizó en 2025. Se les intentó bajar la humedad un día caluroso, tras el cual las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. Para los fines del estudio no fue necesario calcular el contenido de humedad de las semillas.

MEJORA DE LOTE

Las semillas de retama, una vez escarificadas y puestas a remojo, pueden hinchar durante las primeras 24 horas, 2 días o más tiempo. En el momento en que hinchán, sabemos que empiezan su FII, pero si no hinchán permanecen en FI. La separación de semillas en función de cuándo se hinchán nos garantiza tener semillas separadas con la misma gráfica de hidratación. En esto se basa la mejora del lote a esta especie y el procedimiento concreto lo explicaremos en detalle en el apartado del priming.

Todas las pruebas de germinación de las semillas de retama con HP, tienen implícito que se hinchán en menos de 24 horas. Para poder comparar las semillas con HP de las semillas control (sin HP), las semillas de las pruebas de germinación que no tienen HP, son las semillas que se hinchán tras 24 horas de hidratación.



GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 40)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Retama sphaerocarpa</i>	20°C	90	Hinchadas en 24h	30% 15'	5	29	67%
<i>Retama sphaerocarpa</i>	20°C	135	Hinchadas en 24h	30% 15'	5	17	79%
<i>Retama sphaerocarpa</i>	20°C	150	Hinchadas en 24h	30% 15'	4	16	65%
<i>Retama sphaerocarpa</i>	20°C	190	Hinchadas en 24h	30% 15'	5	12	38%

Es una semilla difícil en cuanto al control de hongos en condiciones controladas (sin el uso de fungicidas). Por término medio, con nuestras técnicas de laboratorio, entre el 10 y el 20% de las semillas de una prueba de germinación con *Retama* desarrollan hongos.

Es una especie con latencia física. El agua no puede penetrar al interior de la semilla y necesita escarificación para promover la germinación. Se utilizó ácido sulfúrico al 96% para eliminar la latencia. Tras la inmersión en diferentes tiempos (con agitación cada 10 minutos), las semillas se escurrieron y lavaron con abundante agua, para posteriormente secarse y almacenarse de nuevo en frío. A partir de este punto se realizaron tanto las pruebas de germinación como los tratamientos de HP y curva de hidratación.

Se probaron 4 tiempos de inmersión en ácido (95, 135, 150, 190 minutos). Las curvas de germinación se muestran en el gráfico 40. Las curvas muestran las germinaciones de las semillas que se hincharon tras 24 horas de remojo. Puede observarse que las semillas que tuvieron 95 minutos de ácido germinaron más lentamente; y a partir de 150 minutos de ácido, las semillas no alcanzan el máximo porcentaje de germinación alcanzado con 135 minutos de ácido. Esto último es debido a que el germen interior de las semillas se daña con intensidades de ácido superiores a 135 minutos. Se eligió la duración del tratamiento con ácido, de 135 minutos, para todas las pruebas posteriores.

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de unas 40 semillas.

CURVA DE HIDRATACIÓN A 20°C (gráfico 41)

	horas FI-FII	%mcfw FII
<i>Retama sphaerocarpa</i>	15	64%

La curva de hidratación se realizó con semillas con tratamiento de ácido de 135 minutos y tratamiento de HP de 2 días.

Aunque no hemos calculado la curva de hidratación de la retama con ácido pero sin HP, intuimos que tendrá una hidratación más lenta, ya que en las semillas HP el proceso de hincharse y resecarse provoca el debilitamiento de la testa, y facilita la hidratación rápida posterior.



TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 42)

<i>Retama sphaerocarpa</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control	--	--	--	--	--	20°C	5	17	79%
HP óptimo	20°C	2	--	--	--	20°C	1	8	85%

Aunque el tiempo de finalización de la germinación clásica es de 16 días, decidimos usar HP como tratamiento de priming por los buenos resultados obtenidos en experimentos de años anteriores.

Como el tiempo que tardan las semillas con ácido 135 minutos en empezar a germinar es entre 4 y 5 días (entrada en FIII), optamos por realizar HP con RA durante 2 y 3 días, a 20°C.

Durante el tratamiento de HP se realiza el proceso de mejora del lote. Este proceso sirve para obtener semillas en el mismo punto de su proceso germinativo (el inicio de la FII) y así, junto al proceso de HP, homogeneizar el lote resultante. El proceso es:

1. partiendo de semillas secas a las que les hemos aplicado ácido por 135 minutos;
2. ponemos las semillas en RA, para iniciar proceso de HP;
3. a las 24 horas del inicio de RA, se extraen las semillas y, con la criba adecuada, se separan las semillas hinchadas de las no hinchadas;
4. las hinchadas continúan su proceso de HP en RA por 1 día más, hasta completar 2 días enteros en RA, tras los cuales se secan las semillas;
5. las no hinchadas siguen en RA en otro recipiente;
6. estas que no hincharon, a las 24 horas del nuevo RA, se extraen y se vuelven a separar las semillas hinchadas de las no hinchadas;
7. estas nuevas hinchadas necesitan 1 día más hasta completar 2 días enteros en RA, tras los cuales se secan las semillas;
8. con las nuevas no hinchadas se puede repetir el proceso.

De esta manera, todas las semillas que completan el proceso de HP lo hacen habiendo iniciado el proceso en el mismo punto, el inicio de su hidratación, dentro de las últimas 24 horas. A una semilla de retama que no hincha le da igual el tiempo que esté bajo el agua, hasta que no empiece a hinchar no inicia su proceso germinativo.

Tanto el tratamiento de HP de 2 días, como el de 3 días, obtuvieron resultados similares. El tratamiento de HP de 2 días, germina a 20°C entre 1 y 8 días hasta el 85% (gráfico 42), mucho más rápido que la semilla sin HP, que lo hace entre 5 y 17 días.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 43 y 44)

	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	6	22	85%
<i>HP</i>	10/20°C	3	7	85%
<i>control</i>	5/15°C	13	28	79%
<i>HP</i>	5/15°C	4	12	82%

Las semillas con tratamientos de SMP aumentan considerablemente la velocidad de germinación respecto al control a temperaturas subóptimas.

TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráficos 43 y 44)

Se realizaron tratamientos pregerminativos a 20°C a las semillas control y HP durante un tiempo determinado de pregerminación, finalizado el cual, se trasladaban las semillas a 10/20°C y 5/15°C.

- Como las semillas control a 20°C germinan entre 4 y 5 días, la pregerminación fue de 3,6 días.
- Como las semillas HP a 20°C germinan en 1 día, la pregerminación fue de 24 horas.
- A 10/20°C (gráfico 43) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) consiguió mejorar levemente la germinación de 1 a 5 días, frente a 3 a 7 días en las semillas HP sin pregerminación (línea roja). La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) aumentó mucho más la velocidad respecto al control sin pregerminar (línea azul), pasando de 6 - 22 días a 3 - 14 días.
- A 5/15°C (gráfico 44) la pregerminación de las semillas HP (línea verde) consiguió adelantar la curva de germinación respecto al HP sin pregerminar (línea roja), de 4 - 12 días a 3 - 7 días. La pregerminación de las semillas control (línea amarilla) adelantó mucho la germinación respecto al control sin pregerminar (línea azul), de 13 - 28 días a 3 - 20 días .

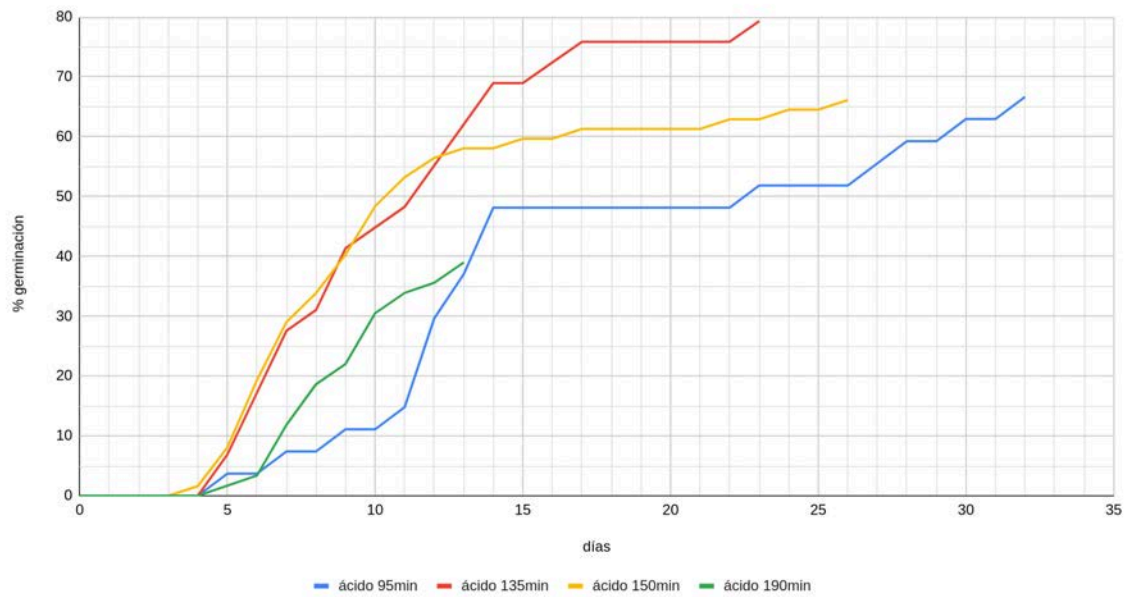
La pregerminación de las semillas HP introducen sólo un poco de mejora respecto a las semillas HP sin pregerminación. Esta mejora es mucho más marcada en las semillas sin HP. Aunque creemos que puede mejorarse el proceso de pregerminación en las semillas con HP, al ser ya la germinación muy rápida (3-7 días), es suficiente para las necesidades que tenemos actualmente en campo (tiempos de secado del suelo vs tiempo en germinar a bajas temperaturas).

Por otro lado, chequeamos la diferencia entre la pregerminación mediante remojo o mediante introducción de las semillas en arena húmeda. Aunque la curva de germinación de ambas es muy similar, usando remojo tarda más de 1 día en empezar a germinar, respecto al uso de arena. Intuimos que cuando, en cualquier especie, el tiempo de remojo se acerca o supera el tiempo de la FI de germinación, la germinación empeora, en % de germinación o en velocidad de germinación. Y creemos que es debido a una mayor necesidad de oxígeno en FII, no cubierta cuando la semilla está bajo el agua.

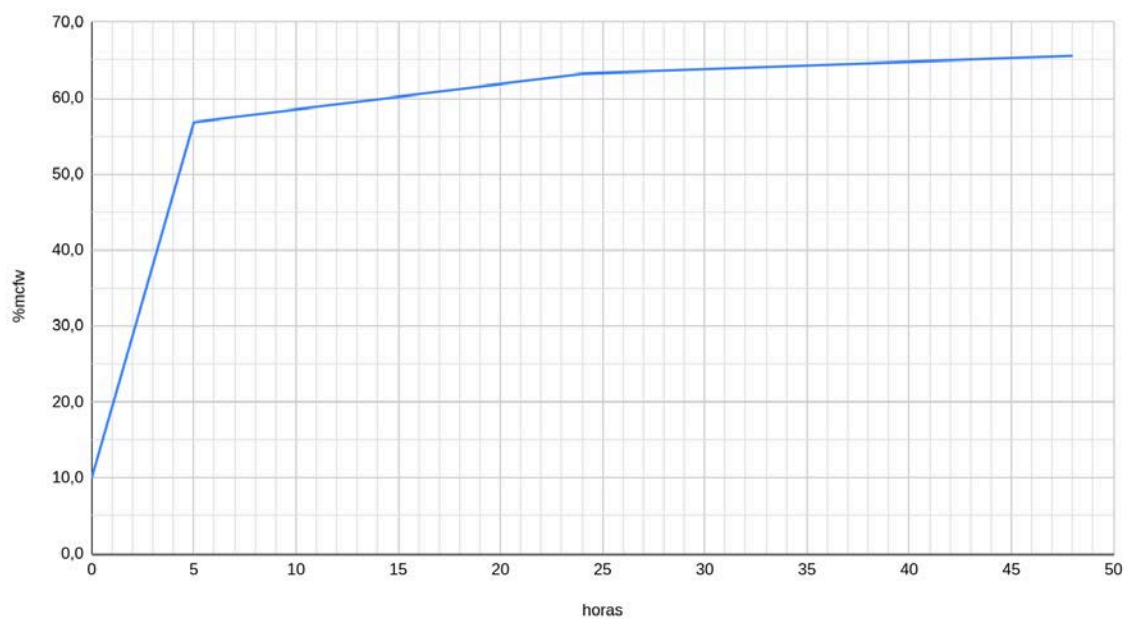


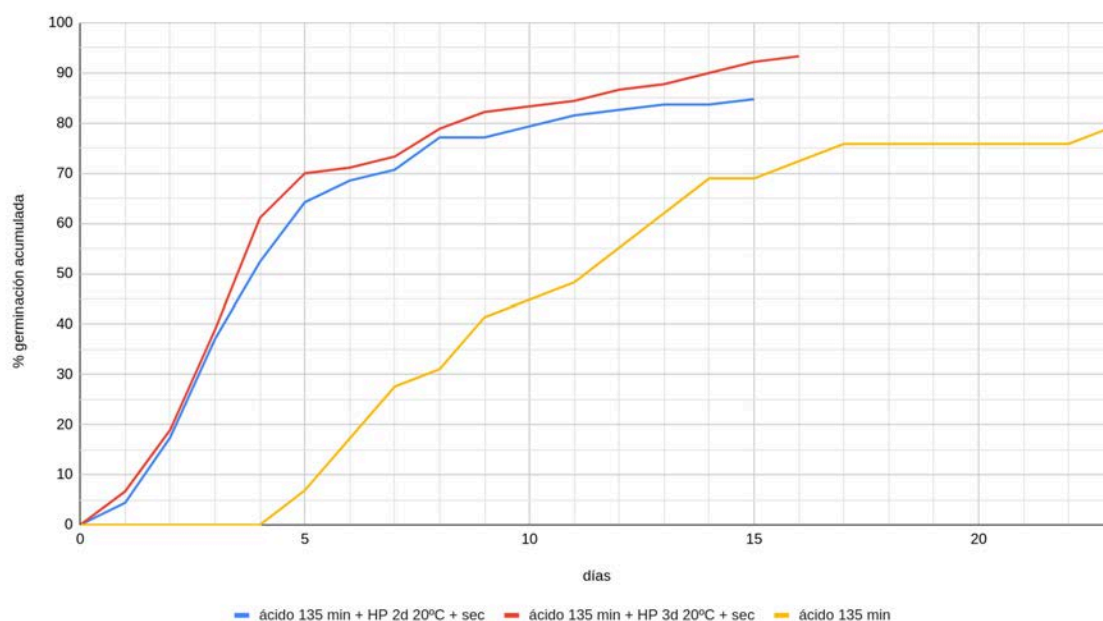
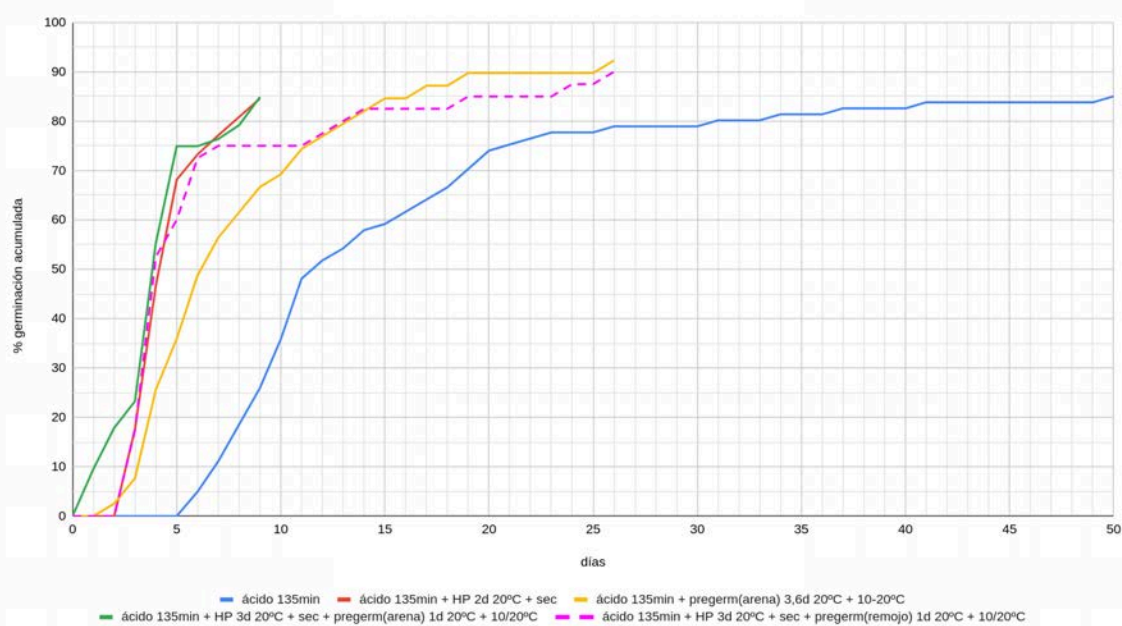
Retama sphaerocarpa. PG a 20°C.

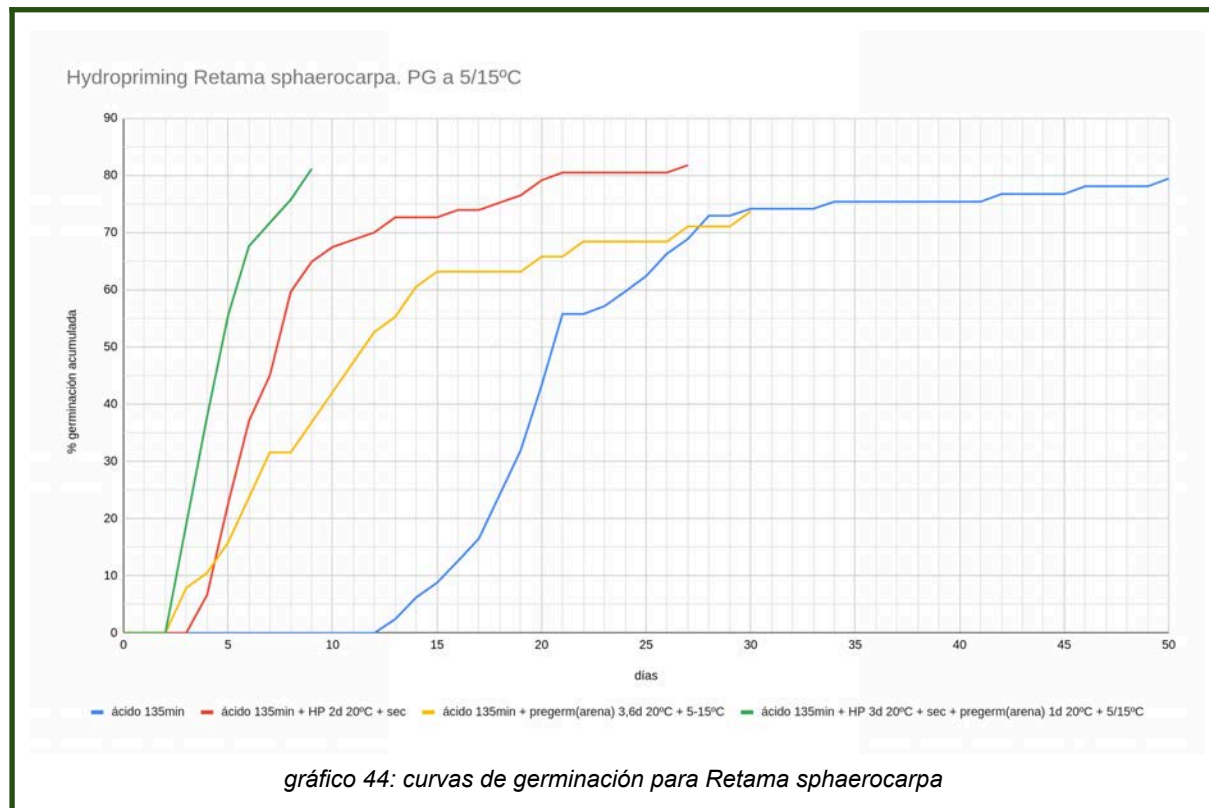
Diferentes tiempos de ácido sulfúrico 96%

gráfico 40: curvas de germinación para *Retama sphaerocarpa*

Curva hidratación Retama sphaerocarpa: ácido + HP

gráfico 41: curvas de hidratación para *Retama sphaerocarpa*

Hydropriming *Retama sphaerocarpa*. PG a 20°Cgráfico 42: curvas de germinación para *Retama sphaerocarpa*Hydropriming *Retama sphaerocarpa*. PG a 10/20°Cgráfico 43: curvas de germinación para *Retama sphaerocarpa*



GENISTA UMBELLATA



LOTE

El lote utilizado fue cosechado en Sierra Lujar (Órgiva) en 2023. Se muestran también las pruebas de eliminación de latencia del lote cosechado en la Alpujarra (Pitres) en 2020.

Tras la cosecha, las semillas se almacenaron en sacos de papel en almacén. La extracción de la semilla de la vaina seca se realizó 3 meses tras la cosecha. Se les intentó bajar el máximo la humedad, y las semillas se almacenaron en recipientes herméticos a 4°C. Para los fines del estudio no fue necesario calcular el contenido de humedad de las semillas.

MEJORA DE LOTE

Como en la retama, también la forma que adquiere el procedimiento de mejora del lote en la bolina está relacionada con la forma de realizar el proceso de hidropriming. Lo explicaremos en detalle en el apartado del priming. Se trata de seleccionar las semillas hinchadas tras un tiempo de remojo.

- Todas las pruebas de germinación de las semillas de bolina con HP, tienen implícito que se hinchan en menos de 30 horas.
- Todas las pruebas de germinación de las semillas de bolina sin HP, tienen implícito que se hinchan en menos de 13 horas.

No queríamos acercar las 13 horas hasta las 30 horas (en la semilla sin HP), porque el exceso de tiempo de remojo interfiere en las características de la germinación. Ni tampoco queríamos hacer una separación durante el RA del HP a las 13 horas para separar las hinchadas, por cuestiones de logística.



GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 45)

	Tª óptima (°C)	tiempo ácido 96% (min)	Mejora del lote	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Genista umbellata</i>	20°C	65	hinchadas en 13h	10% 10'	2	4,5	90%

Es una especie con latencia física. El agua no puede penetrar al interior de la semilla y necesita escarificación para promover la germinación.

Para el lote de la Alpujarra 2020 se utilizó ácido sulfúrico al 96% (reutilizado) para eliminar la latencia. Tras la inmersión en diferentes tiempos (20, 35, 50, 65 minutos) germinaron el (20%, 16%, 44%, 56%) pudiendo hinchar durante esa prueba de germinación el (24%, 23%, 49%, 60%) respectivamente. Si se utilizaba ácido nuevo durante 65 minutos, germinaba el 79% e hinchaban el 86% de las semillas.

Para el lote de Sierra Lujar 2023, las semillas tratadas con ácido nuevo 65 minutos, y puestas a remojo 13 horas, se separaron en hinchadas y no hinchadas manualmente o mediante cribas. Las pruebas de germinación que se muestran a continuación son sólo de las semillas que se hincharon durante las primeras 13 horas de un remojo. Esto es así para poder comparar los resultados de la semilla con y sin priming, ya que durante el proceso de priming de la *Genista umbellata* (al igual que en la *Retama sphaerocarpa*) se separan las hinchadas de las no hinchadas en un momento del proceso.

Con 65 minutos de ácido y con la selección de las semillas hinchadas a las 13 horas del inicio del remojo, la *Genista umbellata* germina a 20°C entre 2 y 4,5 días con 90% de germinación (gráfica 45).

Para todas las pruebas de germinación de esta especie se realizaron 1 ó 2 réplicas de entre 25 y 30 semillas.

TRATAMIENTOS DE PRIMING (gráfico 45)

<i>Genista umbellata</i>	Tª priming (°C)	duración priming (días)	%mcfw FII	%mcfw SMP (sin germinaciones)	%mcfw final SMP	Tª PG (°C)	T0 PG (días)	T90 PG (días)	%Gmax. PG
control	--	--	--	--	--	20°C	2	4,5	90%
HP óptimo	20°C	30 horas	--	--	--	20°C	1	3	90%

Como el tiempo de finalización de la germinación clásica es de 4,5 días, decidimos usar HP como tratamiento de priming.

Como el tiempo que tardan las semillas con ácido 65 minutos en empezar a germinar es entre 1 y 2 días (entrada en FIII), optamos por realizar HP con RA durante 30 horas, a 20°C. No usamos otros tiempos de duración del HP, debido a conocer la duración óptima del tratamiento en pruebas que hicimos años anteriores.

Durante el tratamiento de HP se realiza el proceso de mejora del lote. Este proceso sirve para homogeneizar el lote resultante. El proceso es:

- partiendo de semillas secas a las que les hemos aplicado ácido por 65 minutos;
- ponemos las semillas en RA, para iniciar proceso de HP;
- a las 30 horas del inicio de RA, se extraen las semillas y, con la criba adecuada, se separan las semillas hinchadas de las no hinchadas;
- las hinchadas se secan;
- las no hinchadas se descartan;
- no hacemos como en la retama (poner las no hinchadas de nuevo en RA) porque son pocas las semillas que no hinchan (10-15%).

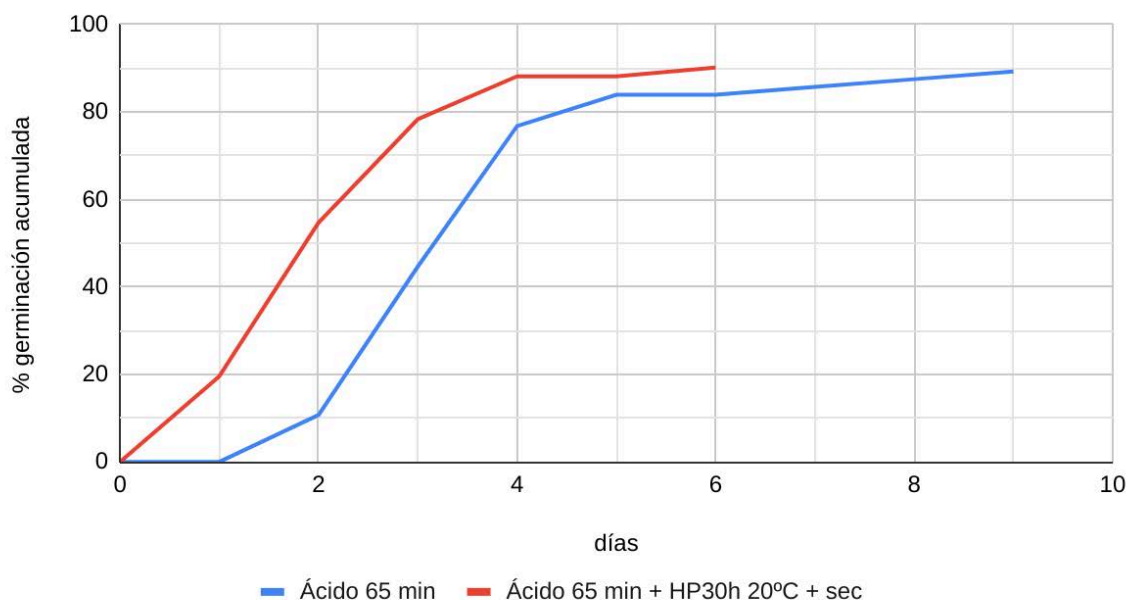
El tratamiento de HP de 30 horas, germina a 20°C entre 1 y 3 días hasta el 90% (gráfica 45), más rápido que la semilla sin HP, que lo hace entre 2 y 4,5 días, también al 90%.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN A TEMPERATURAS SUBÓPTIMAS (gráficos 46 y 47)

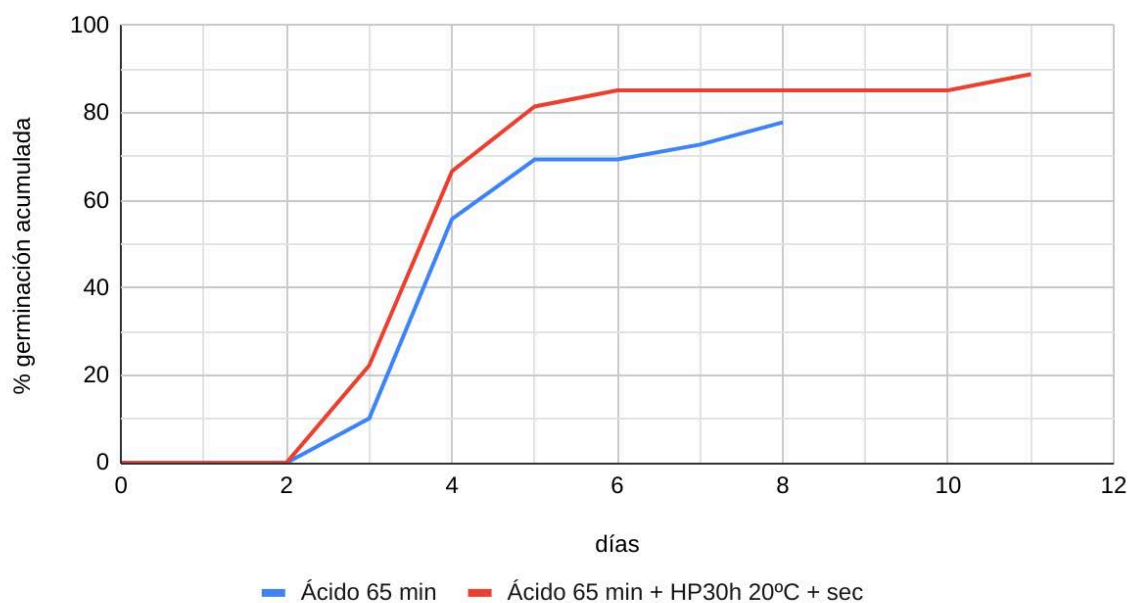
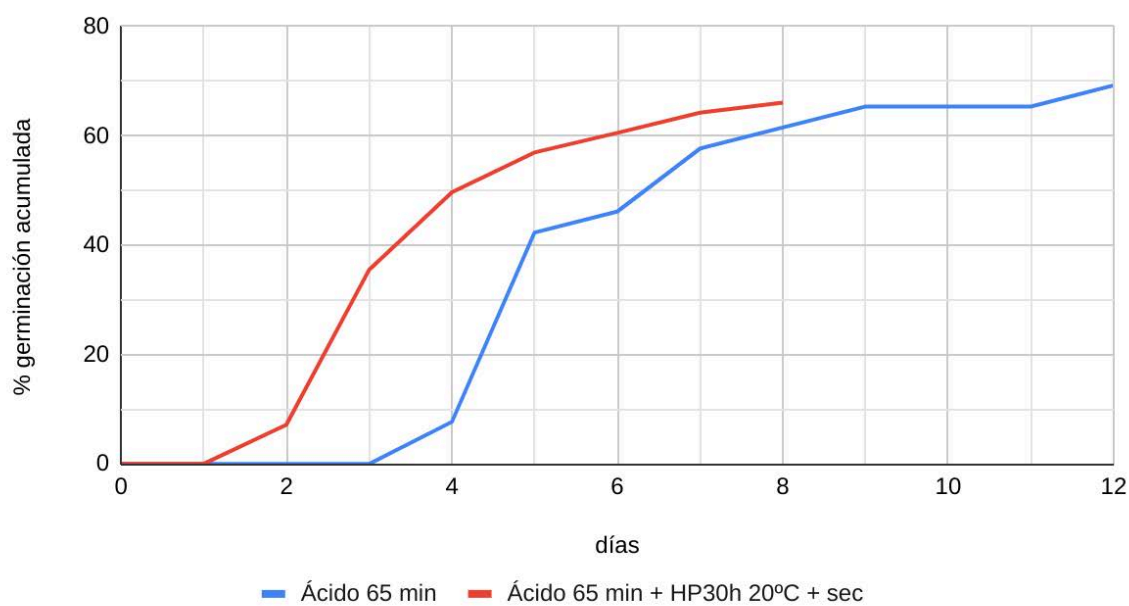
	Tª PG (°C)	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax.
<i>control</i>	10/20°C	3	6.5	78%
<i>HP</i>	10/20°C	3	5	85%
<i>control</i>	5/15°C	4	8	69%
<i>HP</i>	5/15°C	2	6	65%

Esta especie germina relativamente rápido a bajas temperaturas, y los tratamientos de HP introducen unas mejoras mínimas en las características de la germinación. A pesar de ello, para las siembras en campo usamos esta especie con HP, debido a las demás ventajas que introducen los tratamientos de priming, sobre todo, la resistencia al estrés por temperaturas extremas y sequía que adquieren las plantas procedentes de tratamientos de priming.

Hydropriming *Genista umbellata*. PG a 20°C


gráfica 45: curvas de germinación para *Genista umbellata*



Hydropriming *Genista umbellata*. PG a 10/20°Cgráfica 46: curvas de germinación para *Genista umbellata*Hydropriming *Genista umbellata*. PG a 5/15°Cgráfica 47: curvas de germinación para *Genista umbellata*

QUERCUS ILEX



LOTE

Los lotes utilizados se cosecharon en la Alpujarra (Pitres) en noviembre de 2024. Cada lote corresponde a las bellotas (cosechadas del árbol) de 3-6 árboles que tenían características de coloración similares. Tras la limpieza y desinfección, se secaron buscando un %mcfw entre 39% y 40%. Un lote estaba muy marrón en el momento de la cosecha y se almacenó sin secado, ya que se encontraba tras la desinfección al 37,4%mcfw. La forma de almacenamiento fue en bolsas de PEbd (50 micras) a 4°C. El %mcfw mostrado para cada lote es la media de la humedad de 10 bellotas individuales. La variación máxima de humedad dentro de cada lote fue de $\pm 2\%$.

NOTA: Esta especie está descrita en profundidad en nuestro *“Manual de buenas prácticas para proyectos de restauración de Quercus en ambientes mediterráneos”*². La ficha que mostramos a continuación tiene información sobre la viabilidad de los lotes que se utilizaron para la siembra en campo y sobre un pequeño experimento en el que empezamos a observar los efectos de diferentes tratamientos pregerminativos a las bellotas.

GERMINACIÓN CLÁSICA (gráfico 47)

	lote	Tª (°C)	%mcfw almacenamiento	desinfección lejía	T0 (días)	T90 (días)	%Gmax
<i>Quercus ilex</i>	lote 1	15	40	10% 15'	10	37	82%
<i>Quercus ilex</i>	lote 2	15	37,2	10% 15'	12	36	90%
<i>Quercus ilex</i>	lote 3	15	39,5	10% 15'	12	34	91%
<i>Quercus ilex</i>	lote 4	15	40,3	10% 15'	9	25	93%

Las bellotas de *Quercus ilex* germinan bien desde temperaturas de 4°C (incluso hasta 1°C) hasta temperaturas de al menos 20°C. A bajas temperaturas el tiempo que tarda en empezar a germinar es muy largo y las raíces crecen muy lentamente. A altas temperaturas ocurre lo contrario.

Se estudió la viabilidad de 4 lotes almacenados durante 1 mes, que iban a utilizarse en las siembras en campo, mediante pruebas de germinación a una temperatura de 15°C en un medio de arena dentro de una bolsa de PEbd. Los porcentajes de germinación máxima de cada lote fueron similares, entre 83% y 93%.

² https://www.semillistas.es/wp-content/uploads/2024/10/Manual_buenas_practicas.pdf



TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS (gráfico 48)

En nuestra experiencia, las fases de germinación de esta especie recalcitrante se pueden entender como para las especies ortodoxas. Desde el %mcfw que tenga de partida una bellota (p.e. 37%), cuando embebemos la semilla (FI) poco a poco las bellotas ganan humedad hasta que alcanza un %mcfw entorno al 44%. Llegadas a este punto entran en FII y en unas pocas horas la raíz emerge (FIII). Es decir, que cuando realizamos un proceso de germinación de las bellotas, desde que las ponemos en sustrato húmedo, la mayor parte del tiempo se encuentran en FI. Esto tiene implicaciones en los posibles diseños de tratamientos pregerminativos, ya que mientras las bellotas se encuentren en FI, las necesidades de oxígeno son reducidas, y teníamos la hipótesis de que los remojos (como tratamientos pregerminativos) pueden ser de más de 48 horas (remojo popular para las bellotas).

Se estudiaron tratamientos pregerminativos a dos temperaturas (4°C y 16°C), con dos duraciones (1,5 y 4,5 días) y dos tratamientos (remojo y remojo aireado) (gráfico 48). Queríamos observar si tenía efectos en la germinación un tratamiento mayor de 48 horas, con y sin aire.

Los tratamientos se realizaron a un 5º lote, almacenado durante 6 meses. Este lote se almacenó tras la cosecha al 40,5%mcfw, y en el momento del estudio, se midió una humedad del 42%mcfw. Sobre el por qué del aumento de la humedad durante el almacenamiento, todavía no tenemos respuesta, aunque la hipótesis que mayor fuerza tiene es que la bolsa de PEbd permiten la entrada de la alta humedad del aire de la cámara donde se almacenan las bellotas (empresa de frutas y verduras de Órgiva). A pesar del aumento de %mcfw durante el almacenamiento, el lote 5 no tuvo germinaciones durante el mismo.

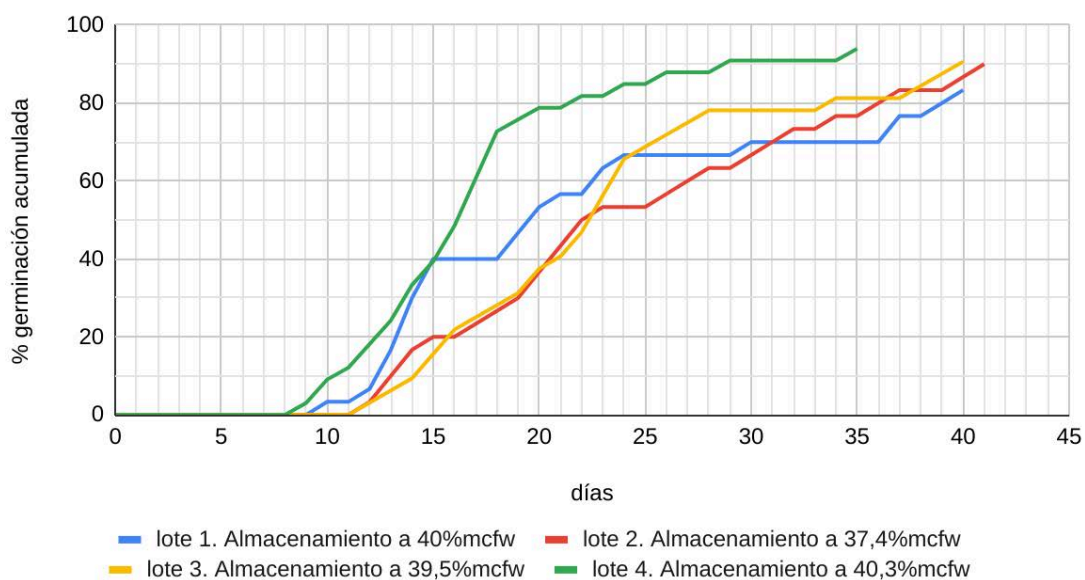
En el gráfico 48 puede observarse la germinación de cada tratamiento pregerminativo. Hay que tener en cuenta que el tiempo 0 de cada curva de germinación es desde el momento en que se termina el tratamiento pregerminativo. Observaciones interesantes:

- el % de germinación máximo del lote fue entre 90% y 100%. Esto reafirma la viabilidad del método de almacenamiento por 6 meses.
- la pregerminación de 4,5 días desencadenó una germinación más rápida que la pregerminación de 1,5 días, obviamente.
- tanto con 4,5 días de remojo, como con los 1,5 días de remojo, fue indiferente que las bellotas tuvieran aire durante el remojo.
- con remojo de 1,5 días, fue indiferente que el remojo fuera a 16°C o 4°C.

Concluimos que es posible aumentar el tiempo de remojo de las bellotas a más de 48 horas, al menos hasta los 4,5 días. Esto facilita la logística de pregerminados para la preparación de bellotas para siembras en campo. Queda pendiente para el próximo año, estudiar los límites temporales de la duración del remojo.



Quercus ilex. PG a 15°C



gráfica 47: curvas de germinación para Quercus ilex

Quercus ilex. PG a 20°C con pregerminación previa

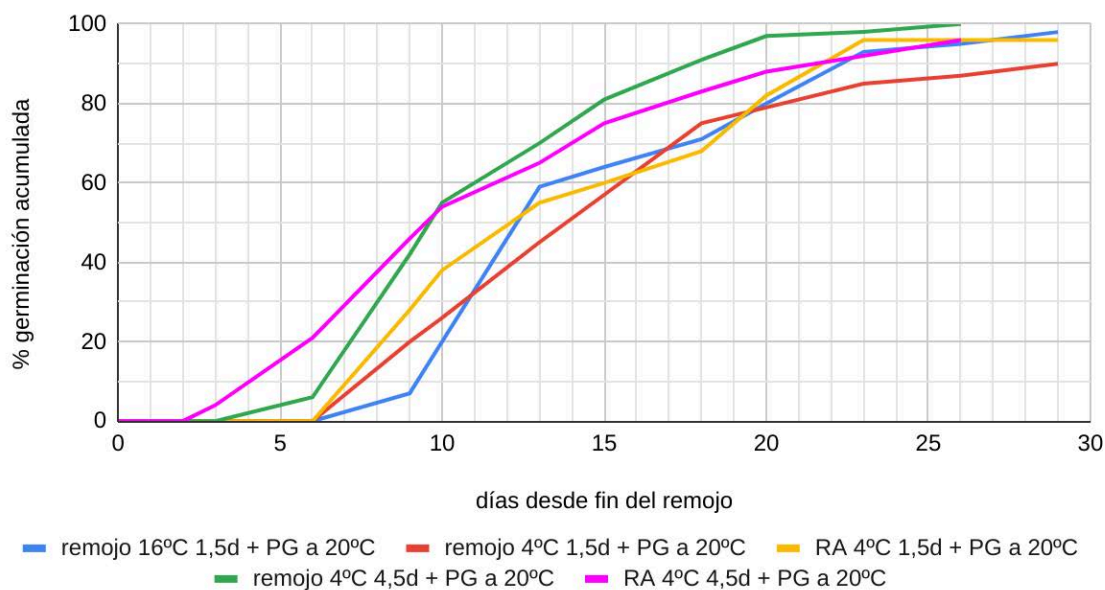


gráfico 48: curvas de germinación para Quercus ilex



6. Bibliografía

Manuales de semillas forestales mediterráneas

- ❖ Manual para la identificación y reproducción de semillas de especies autóctonas de Andalucía. 2001³
- ❖ Producción y manejo de semillas y plantas forestales. 2012⁴
- ❖ Especies silvestres mediterráneas con valor ornamental. 2008⁵
- ❖ Manual para la propagación de plantas autóctonas Mediterráneas seleccionadas. 2015⁶
- ❖ Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de especies de uso forestal de la Comunidad Valenciana. 2001⁷
- ❖ Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea. 1998⁸

Semillas

- ❖ Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Carol C. Baskin, Jerry M. Baskin. 2001
- ❖ Seed Development, Dormancy and Germination. KENT J. BRADFORD. 2007
- ❖ Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination. J. Derek Bewley, M. Black. 1982
- ❖ Guía para la manipulación de semillas forestales. FAO. 1983⁹
- ❖ Seed germination and dormancy. J. Derek Bewley. 1997
- ❖ Seed dormancy and the control of germination. William E. Finch-Savage, Gerhard Leubner-Metzger. 2006

SET: Seed Enhancement Technologies

- ❖ Preconditioning, germination and performance of seeds. Khan, A.A. 1977.
- ❖ SMP: Solid Matrix Priming of Seeds. A.G. TAYLOR, D.E. KLEIN and T.H. WHITLOW. 1998

³ <https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/45853.html>

⁴ <https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/naturaleza-parques.html>

⁵ <https://repositorio.upct.es/entities/publication/e7f79564-ea6a-4751-a720-2a6a89e8b393>

⁶ http://www.ecoplantmed.eu/es/publications/propagation_manual

⁷ https://www.uv.es/patricio/docs/bases-ecologicas_Garcia_Fayos_2001.pdf

⁸ <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003500/3510-propagazione-per-seme.pdf>

⁹ <https://www.fao.org/4/ad232s/ad232s00.htm#TOC>

- ❖ CONCEPTS AND TECHNOLOGIES OF SELECTED SEED TREATMENTS. A. G. Taylor and G. E. Harman. 1990
- ❖ Preplant Physiological Seed Conditioning. Anwar A. Khan. 1992
- ❖ Matricconditioning of Vegetable Seeds to Improve Stand Establishment in Early Field Plantings. Anwar A. Khan. 1992
- ❖ Moisture Content Controls the Effectiveness of Dormancy Breakage in *Abies nordmanniana*. Martin Jensen. 1997
- ❖ ECOTECNOLOGÍAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: LOS TRATAMIENTOS DE SEMILLAS Y LAS MICORRIZAS. Jorge A. Sánchez Rendón y Eduardo Furrázola Gómez. 1992¹⁰
- ❖ Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. Jorge A. Sánchez, Ramón Orta, Barbara C. Muñoz. 2001
- ❖ ECOFISIOLOGÍA DE SEMILLAS DE PLANTAS TROPICALES: EL ACONDICIONAMIENTO MÁTRICO UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA GERMINAR ESPECIES NATIVAS, ÚTILES PARA LA RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE ESPECIES. Alma Orozco-Segovia et al. 2014¹¹
- ❖ TRATAMIENTOS ROBUSTECEDORES DE SEMILLAS PARA MEJORAR LA EMERGENCIA Y EL CRECIMIENTO DE *Trichospermum mexicanum*, ÁRBOL TROPICAL PIONERO. Jorge A. Sánchez. 2006
- ❖ A global review of seed enhancement technology use to inform improved applications in restoration. Vanessa S. Brown, Todd E. Erickson, David J. Merritt, Matthew D. Madsen, Richard J. Hobbs, Alison L. Ritchie. 2021
- ❖ Seed Enhancement Technologies. Todd E. Erickson et al. 2021
- ❖ Advances in the Concept and Methods of Seed Priming. Muhammad Waqas et al. 2019
- ❖ Inducing rapid seed germination of native cool season grasses with solid matrix priming and seed extrusion technology. Matthew D. Madsen et al. 2018

¹⁰

https://www.researchgate.net/publication/268050235_Matricconditioning_of_Vegetable_Seeds_to_Improve_Stand_Establishment_in_Early_Field_Plantings

¹¹

https://www.researchgate.net/publication/269184675_Ecofisiologia_de_semillas_en_plantas_tropicales_el_aciondicionamiento_matrico_una_herramienta_util_para_germinar_especies_nativas_utiles_para_la_restauracion_y_conservacion_de_especies

Especies (además de los manuales expuestos arriba)***Pinus halepensis***

- ❖ Ecophysiology of seed germination in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. Costas A. Thanos. 2000
- ❖ Seed stratification and germination strategy in the Mediterranean pines *Pinus brutia* and *P. halepensis*. Antonis Skordilis and Costas A. Thanos. 1995

Rhamnus alaternus

- ❖ Seed germination at different temperatures and seedling emergence at different depths of *Rhamnus* spp. Hanan El Aou-ouad et al. 2014
- ❖ Seed dormancy and germination niches of Mediterranean species along an altitudinal gradient in Sardinia. Tesis Doctoral. Rosangela Picciau. 2015

Genista umbellata* y *Retama Sphaerocarpa

- ❖ Caracterización y germinación de semillas de *Genista umbellata*. Botanical Garden, University of Valencia: Plant Propagation and Ex-Situ Conservation Technical Sheets. 2016¹²
- ❖ Seed Germination in Genisteae (Fabaceae) from South-West Spain. Josefa Lopez et al. 1999

Pistacia lentiscus* y *Ceratonia siliqua

- ❖ Soil seed bank, factors controlling germination and establishment of a mediterranean shrub: *Pistacia lentiscus* L. Patricio García-Fayos, Miguel Verdú. 1998
- ❖ Treatments improving seeds germination of two mediterranean sclerophyll species *Ceratonia siliqua* and *Pistacia lentiscus*. Marianthi Tsakalimi, Petros Ganatsas. 2001

Rhamnus lycioides

- ❖ ECOLOGÍA GERMINATIVA DE LOS ESPINOS RHAMNUS LYCIOIDES SUBSP. LYCIOIDES Y RH. SAXATILIS (RHAMNACEAE). Raquel HERRANZ FERRER. 2019

Quercus ilex

- ❖ Manual de buenas prácticas para la regeneración de *Quercus* en ambientes mediterráneos. Daniel Calatayud - Asociación Semillistas. 2024¹³

¹² https://jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion_106_TS2.2_Genista_umbellata.pdf

¹³ https://www.semillistas.es/wp-content/uploads/2024/10/Manual_buenas_practicas.pdf