

Universitat de València

JARDÍ BOTÀNIC - ICBiBE



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA  Jardí Botànic

Respuesta germinativa y tolerancia al estrés salino en comunidades dunares.

Memoria presentada por D Carmen López Valiente para optar al
grado de Doctora en Ciencias Biológicas

Dirigida por las Doctoras

Elena Estrelles Perpiñá y Pilar Soriano Guarinos

València, Mayo de 2011

PILAR SORIANO GUARINOS, Profesora Titular del Departamento de Botánica de la Universitat de València, y ELENA ESTRELLES PERPIÑÁ, Conservadora del Banco de Germoplasma del Jardí Botànic de la Universitat de València,

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada *Respuesta germinativa y tolerancia al estrés salino en comunidades dunares* ha sido realizada por D^a Carmen López Valiente para aspirar al grado de Doctora en Ciencias Biológicas bajo nuestra dirección en el Jardí Botànic de la Universitat de València. Y que, considerándola concluida, autorizan su presentación a fin de que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Para que conste, expiden el siguiente certificado, en València a 25 de Mayo de dos mil once.

Dra. Pilar Soriano Guarinos

Dra. Elena Estrelles Perpiñá

A les meves filles Aitana i Mariola. Al meu home-gat.

Agradecimientos

Quiero agradecer, en primer lugar, todo el tiempo dedicado a esta tesis por parte de mis directoras, la Dra. Pilar Soriano y la Dra. Elena Estrelles, teniendo en cuenta mis idas y venidas y todos los avatares (el nacimiento de mis dos hijas, por ejemplo) que han ocurrido en estos años.

También dar las gracias al personal del Jardí Botànic de la Universitat de València: Sefa, Dani, Noemí, Félix y a todos aquellos estudiantes de biológicas que pasaron por el laboratorio haciendo prácticas y me ayudaron algún ratito a limpiar semillas. A María José Carrau por sus consejos. A Jaime Güemes por nuestras conversaciones sobre Ushuaia, las parrilladas y Demis Roussos. Al Dr. Gonzalo Mateo por su ayuda con el género *Ephedra*. A Javier Barrachina por ayudarme con la búsqueda bibliográfica y por esos cafés que, junto con Rosa Alegre, pasaron a formar parte del núcleo duro.

Gracias a los del agua de mar: Tato, Andrej Abramic, Toni Raga, Manuel García Carrascosa y Javier Pitarch. A los de los suelos: Eugenia Gimeno, Enrique Sanchís, Carles Sanchis Ibor y Josep Eliseu Pardo. A Jordi Payá por su ayuda con los datos climáticos. A Patricio García-Fayos, por su colaboración *ipso facto* y prestarme el PAR. A Eugenia Ferrer por sus comentarios sobre la parte matemática y a Merche Fernández por sus ánimos desde las profundidades marinas. A Paco Collado por su ayuda con las semillas de diferentes especies.

Gracias a esos amigos de siempre que han estado ahí, Ximo, Hermi, Fer, Trino, Yolán, animándome todos estos años e incluso haciéndome leer libros de psicología y hacer promesas lejanas comiendo cuscús, ..., gracias Amparo!. A Luis y a Edu que con sus ejercicios hicieron que desapareciesen los dolores de cabeza que me tenían bloqueada. A los nadadores y fotógrafo del Club Deportivo UPV Natación Máster que me han animado a acabar y a pasar "momentos tibetanos". A los amigos de allende los mares, Hernán y Valeria. A Randy Pausch por haber dejado escrita su última lección y ... gracias también a quien la colgó en Youtube. La lei y la vi cuando más lo necesitaba.

VIII Agradecimientos

Gracias a los compañeros y amigos de los IES por los que he pasado que me han animado a seguir adelante ... y a todos esos alumnos que al saber lo que hacía me decían "Profe ¿vas a ser doctora? ¿Podrás operar?".

Gracias a mi familia, ya que la combinación López-Picó-Valiente-Vázquez es más que explosiva, ¡menuda genética!. Por eso he podido acabar ¿verdad Lola?.

Y por último, y no precisamente por ser el menos importante, gracias a Jesús Picó. El catedrático-doctor-ingeniero jefe-marido que ha hecho posible que esta tesis fuese adelante, y no se quedase en un simple montón de papeles abandonado en un contenedor (ya serían dos). Él ha sido el auténtico motoret.

València, Abril 2011

Carmen López Valiente

Índice de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento inicial	1
1.2. Estudios preliminares sobre germinación	3
1.3. Objetivos	4
2. Material y métodos	7
2.1. Elección y descripción de las especies	7
2.1.1. <i>Cakile maritima</i> Scop. (<i>Cruciferae</i>)	10
2.1.2. <i>Glaucium flavum</i> Crantz (<i>Papaveraceae</i>)	11
2.1.3. <i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark ex Melderis (<i>Gramineae</i>)	12
2.1.4. <i>Calystegia soldanella</i> R. Br. (<i>Convolvulaceae</i>)	12
2.1.5. <i>Medicago marina</i> L. (<i>Leguminosae</i>)	13
2.1.6. <i>Lotus creticus</i> L. (<i>Cruciferae</i>)	14
2.1.7. <i>Crucianella maritima</i> L. (<i>Rubiaceae</i>)	14
2.1.8. <i>Malcolmia littorea</i> (L.) R. Br. (<i>Cruciferae</i>)	15
2.1.9. <i>Pancratium maritimum</i> L. (<i>Amaryllidaceae</i>)	16
2.1.10. <i>Teucrium dunense</i> Sennen (<i>Labiatae</i>)	17
2.1.11. <i>Halimium halimifolium</i> (L.) Willk. (<i>Cistaceae</i>)	17
2.1.12. <i>Phillyrea angustifolia</i> L. (<i>Oleaceae</i>)	18
2.1.13. <i>Rhamnus oleoides</i> L. subsp. <i>angustifolia</i> (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez (<i>Rhamnaceae</i>)	19
2.1.14. <i>Myrtus communis</i> L. (<i>Myrtaceae</i>)	19
2.1.15. <i>Ephedra distachya</i> L. (<i>Ephedraceae</i>)	20
2.2. Vegetación dunar. Descripción de las comunidades estudiadas	21
2.2.1. Catena de vegetación	24
2.2.2. Esquema sintaxonómico	24
2.2.3. Descripción de los suelos	26
2.3. Pruebas de germinación	27
2.3.1. Pretratamiento de las semillas	27

2.3.2. Selección de condiciones de iluminación durante la germinación	28
2.3.3. Selección del barrido de temperaturas	30
2.3.4. Selección del barrido de concentraciones salinas	33
2.4. Determinación de índices de evaluación	33
2.4.1. Introducción	33
2.4.2. Índices de evaluación de la velocidad de germinación	36
2.4.3. Comparativa entre los índices de evaluación considerados	41
2.5. Optimalidad multiobjetivo. Cálculo del Índice de Optimalidad, I_D	43
2.6. Análisis estadístico	46
2.7. Comparación entre conjuntos	47
2.8. Ajustes de datos a modelos	49
2.8.1. Aproximación multivariable mediante <i>redes neuronales artificiales</i>	50
2.8.2. Ajustes a rectas de regresión	53
2.8.3. Análisis multivariante: análisis cluster, análisis de componentes principales (PCA) y análisis factorial (FA)	56
3. Barrido de temperaturas. Resultados y análisis	63
3.1. Introducción	63
3.2. Resultados y análisis por especies	63
3.2.1. <i>Cakile maritima</i> Scop.	63
3.2.2. <i>Glaucium flavum</i> Crantz	69
3.2.3. <i>Elymus farctus</i> (Viv.) Runemark <i>ex</i> Melderis	76
3.2.4. <i>Calystegia soldanella</i> R.Br.	81
3.2.5. <i>Medicago marina</i> L.	86
3.2.6. <i>Lotus creticus</i> L.	92
3.2.7. <i>Crucianella maritima</i> L.	97
3.2.8. <i>Malcolmia littorea</i> (L.) R. Br.	102
3.2.9. <i>Pancratium maritimum</i> L.	108
3.2.10. <i>Teucrium dunense</i> Sennen	113
3.2.11. <i>Halimium halimifolium</i> (L.) Willk.	119
3.2.12. <i>Phillyrea angustifolia</i> L.	124
3.2.13. <i>Rhamnus oleoides</i> L. subsp. <i>angustifolia</i> (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez	129
3.2.14. <i>Myrtus communis</i> L.	135
3.2.15. <i>Ephedra distachya</i> L.	141

4. Barrido de concentraciones de sales. Resultados y análisis	147
4.1. Introducción	147
4.2. Resultados y análisis por especies	147
4.2.1. <i>Cakile maritima</i> Scop.	147
4.2.2. <i>Glaucium flavum</i> Crantz	151
4.2.3. <i>Elymus farctus</i> Runemark ex Melderis	156
4.2.4. <i>Calystegia soldanella</i> R.Br.	160
4.2.5. <i>Medicago marina</i> L.	165
4.2.6. <i>Lotus creticus</i> L.	169
4.2.7. <i>Crucianella maritima</i> L.	173
4.2.8. <i>Malcolmia littorea</i> (L.) R.Br.	177
4.2.9. <i>Pancratium maritimum</i> L.	181
4.2.10. <i>Teucrium dunense</i> Sennen	186
4.2.11. <i>Halimium halimifolium</i> (L.) Willk.	190
4.2.12. <i>Phillyrea angustifolia</i> L.	194
4.2.13. <i>Rhamnus oleoides</i> L. subsp. <i>angustifolia</i> (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez	199
4.2.14. <i>Myrtus communis</i> L.	203
4.2.15. <i>Ephedra distachya</i> L.	207
5. Análisis de resultados	213
5.1. Resultados y análisis por Clase	213
5.1.1. Clase <i>Cakiletea maritimae</i>	214
5.1.2. Clase <i>Ammophiletea arenariae</i>	218
5.1.3. Clase <i>Rosmarinetea officinalis</i>	225
5.1.4. Clase <i>Quercetea ilicis</i>	228
5.2. Resultados y análisis conjuntos	235
5.2.1. Análisis de temperatura y potencial osmótico base	235
5.2.2. Análisis multivariante	238
6. Discusión	255
7. Conclusiones	263
A. Apéndice	265
Bibliografía	273

1 Introducción

1.1. Planteamiento inicial

En las zonas costeras se dan condiciones ambientales únicas que configuran comunidades vegetales también únicas (Alcaraz & Garre, 1985; Maun, 2009; Ievinsh, 2006). Entre los factores principales que actúan como determinantes cabe destacar las altas temperaturas, la salinidad del suelo, el encharcamiento, y un factor muy específico como es el enterramiento en la arena, entre otros. Por ello, las plantas presentan mecanismos de adaptación también específicos. Es importante señalar también la existencia de microclimas en los sistemas dunares, que varían con la densidad de la propia cobertura vegetal, con la existencia de pendientes, más o menos acusadas y determinadas por la microtopografía característica de estos ecosistemas, así como con la orientación de las mismas (Wartena, 1991). Mención merece también, en relación con la existencia de estos microclimas, otro factor relevante como el rocío (Heusinkveld, 2008; Jacobs *et al.*, 2000), y la escasa disponibilidad de agua, ya que los suelos de textura arenosa tienen poca capacidad para retenerla.

Las comunidades dunares constituyen pues un sistema complejo, resultado de una heterogeneidad ambiental dependiente de la distancia al mar. La típica zonación de la vegetación dunar, en la que se suceden distintas comunidades dispuestas en bandas paralelas al mar, se reproduce en distintas regiones del mundo. Las especies que las componen pueden ser distintas pero su respuesta a las presiones o estreses ambientales característicos de las dunas litorales son convergentes en todo el mundo (Maun, 2009). Se ha investigado mucho sobre los diversos factores que determinan esta disposición. Y se ha citado la tolerancia de las diferentes especies que configuran las comunidades litorales a factores relacionados con las condiciones medioambientales, como causante de la zonación de estos sistemas vegetales (Alvarez-Rogel *et al.*, 2006; Acosta *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2009). Esta correlación es lógica dado que factores como la estructura del suelo, la humedad, la cantidad de materia orgánica, la influencia de la maresía o la abrasión de los granos de arena, varían con la distan-

cia al mar (Ishikawa *et al.*, 1995; Yura & Ogura, 2006). Hay autores, (Lane *et al.*, 2008), que concluyen que la composición química del suelo (materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico o presencia de compuestos nitrogenados) es el factor determinante más importante para la zonación en las dunas subtropicales de Florida. Sin embargo, aun existen otros factores ambientales menos estudiados, como la temperatura del suelo, que pueden tener efectos muy relevantes en esta disposición.

Las condiciones de dureza que imperan en el litoral han hecho que los cordones dunares se hayan conservado hasta hace relativamente poco tiempo, ya que la arena, los vientos y la salinidad no hacían estas zonas aptas ni para el cultivo ni para los asentamiento humanos. Fue a partir de los años cincuenta cuando comenzó la colonización y el consiguiente proceso de destrucción del litoral mediterráneo, proceso que continúa en estos momentos, acabando con las pocas zonas sin construir que quedan en este territorio.

Hoy día estos ecosistemas se encuentran en importante estado de degradación en la Comunidad Valenciana. Por tanto, todos aquellos estudios, trabajos y proyectos destinados a su recuperación son relevantes. Esto queda reflejado en la directiva Habitat (92/43/CEE) que incluye este tipo de comunidades con los códigos referentes a la vegetación dunar (1210, 2110, 2120, 2210, 2260, 2250) y que declara algunos de los ambientes dunares como lugares de interés comunitario.

En esta línea, se han llevado a cabo importantes proyectos en los últimos años financiados por la CEE:

- Programa LIFE-Naturaleza, adscrito al programa MaB-UNESCO y a la Estrategia Europea de Conservación de Flora del Consejo de Europa y Planta Europa (Laguna, 2003). Este proyecto contribuye a la protección de las áreas litorales con la declaración de varias microrreservas de flora.
- LIFE-DUNA - Modelo de Restauración de Hábitats dunares en la Devesa de la Albufera de Valencia, dentro de la modalidad Life-Naturaleza en el periodo de ejecución de 2000-2004 (Benavent *et al.*, 2004).
- GENMEDOC - Création d'un réseau de centres de conservation du matériel génétique de la flore des régions méditerranéennes de l'espace MEDOCC. 2004-2006.
- LIFE-ENEBRO - Restauración de dunas litorales con *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* en Valencia, dentro de la modalidad Life-Naturaleza en el periodo de ejecución de 2004-2008 (Sánchez, 2008).
- SEMCLIMED (Programme Interreg IIIB Medoc). Impact du changement climatique sur la flore méditerranéenne et actions de conservation. 2006-2008.

Este estudio pretende ir un poco más allá de los simples trabajos sobre los factores ambientales. Se ha intentando determinar los factores adaptativos intrínsecos de las especies propias de las distintas comunidades vegetales dunares que justifican su distribución, centrándose en la fase más sensible del ciclo biológico de una planta, la fase germinativa, ya que dentro de las estrategias de recuperación y conservación, una parte fundamental es el conocimiento de los sistemas de propagación de las especies vegetales y, particularmente de la germinación de las semillas. Así, en estos proyectos, y por parte de numerosos investigadores, se ha tratado el tema de las condiciones de germinación desde perspectivas muy diferentes.

1.2. Estudios preliminares sobre germinación

Existen estudios que relacionan la germinación de especies de hábitats litorales o con condiciones similares con numerosos factores. Algunos de ellos se centran en la comparación de la respuesta germinativa a diferentes condiciones, como la iluminación, la temperatura y la tolerancia a la salinidad (Liu & Zhu, 1997; Khan & Ungar, 1997; Densmore, 1997; Walmsley & Davy, 1997; Katembe *et al.*, 1998; Gozlan & Gutterman, 1999; Pujol *et al.*, 2000; Tobe *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2000; Huang & Gutterman, 1999; Howard & Mendelsohn, 1999a,b; Prado *et al.*, 2000; Debez *et al.*, 2004; Abbad *et al.*, 2004; Zia & Khan, 2004; Khan & Gul, 2008). Algunos autores también consideran otros factores como la profundidad a la que se encuentran enterradas las semillas (Martínez *et al.*, 1992), la resistencia a la sequedad, es decir, a la escasa disponibilidad de agua (Khan & Ungar, 1984).

Habitualmente en estos estudios se analiza la respuesta a las diferentes condiciones observando el porcentaje y la velocidad de germinación en relación con las distintas comunidades vegetales (Gulzar & Khan, 2001; Carter & Ungar, 2004). Algunos autores han centrado sus estudios en la predicción de modelos de población en marjales o marismas y dunas (Watkinson & Davy, 1985), otros intentan determinar las implicaciones de la germinación en los programas de restauración de estas comunidades vegetales (Walmsley & Davy, 1997). Pero en general se conocen, por el momento, pocos trabajos que estudien una relación directa del comportamiento de la germinación respecto a la temperatura, sal y las características de las comunidades vegetales (Ievinsh, 2006).

Parámetros relevantes, de amplia aplicación en el estudio de los requerimientos germinativos, pero poco estudiados en especies dunares son aquellos que relacionan la temperatura base, T_b ($^{\circ}\text{C}$), y el potencial osmótico base, Ψ_b (MPa), tiempo térmi-

co, S ($^{\circ}\text{C dia}$), (Trudgill, 1995; Hardegree *et al.*, 1999; Hardegree & Vactor, 1999, 2000; Shaffi & Price, 2001; Wang *et al.*, 2004; Trudgill *et al.*, 2005) y el hidrotiempo, Θ (MPa dia), (Bradford, 1990; Dahal & Bradford, 1994; Kebreab & Murdoch, 1999; Cheng & Bradford, 1999; Bradford, 2002). Con este tipo de trabajos se buscan relaciones para explicar la competitividad de la planta a la hora de germinar a determinadas temperaturas y a diferentes concentraciones salinas. Los estudios de cálculo de estos parámetros se hacen a partir de datos de velocidad de germinación a temperaturas constantes y concentraciones salinas determinadas, utilizando la inversa de índices como el MGT (Alsadon *et al.*, 1995) o el T_{50} . La mayoría de los trabajos se basan en los datos obtenidos a partir de germinaciones controladas en condiciones de laboratorio.

La hipótesis de trabajo se basa en la idea de que los requerimientos germinativos de una planta son los que determinan su situación en un hábitat tan exigente como el dunar, ya que de ellos va a depender también el éxito del establecimiento posterior de las plántulas (Donohue *et al.*, 2010).

1.3. Objetivos

El objetivo general de la tesis es el estudio de la respuesta germinativa frente a diferentes factores como la temperatura y salinidad del medio de germinación. Se seleccionaron especies características de las distintas comunidades vegetales que colonizan los sistemas dunares, desde las anuales que se sitúan en la zona más cercana al mar hasta las más interiores, propias de la vegetación de arenal estabilizado y postdunar, con el propósito de realizar un estudio general que incluyese un gran número de las especies más representativas de estas comunidades.

Los objetivos planteados fueron:

1. Estudio de la respuesta germinativa de las distintas especies en diferentes temperaturas y condiciones salinas.
2. Determinación de las condiciones óptimas y el rango de tolerancia a la sal en las especies consideradas.
3. Selección y desarrollo de índices asociados a los indicadores numéricos. Revisión de los índices de velocidad de germinación con el fin de proponer un nuevo índice

normalizado que facilite la interpretación de los resultados.

4. Obtención de un modelo que prediga las condiciones óptimas para condiciones de temperatura y concentración salina, con el diseño de un nuevo índice referido a la optimización del porcentaje y la velocidad de germinación.
5. Realización de un análisis que relacione los resultados anteriores con la zonación de los ecosistemas dunares.
6. Evaluación de la competitividad de las especies estudiadas.
7. Identificación de los factores de mayor relevancia para su aplicación en proyectos de conservación y restauración.

2 Material y métodos

2.1. Elección y descripción de las especies

Los criterios de selección de las especies aplicados fueron la representatividad en las comunidades vegetales litorales, la producción suficiente de semillas viables para completar los ensayos y la variabilidad taxonómica. Para este estudio se han seleccionado quince especies: *Cakile maritima* Scop. (*Cruciferae*), *Glaucium flavum* Crantz (*Papaveraceae*), *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis (*Gramineae*), *Calystegia soldanella* R. Br. (*Convolvulaceae*), *Medicago marina* L. (*Leguminosae*), *Lotus creticus* L. (*Leguminosae*), *Crucianella maritima* L. (*Rubiaceae*), *Malcolmia littorea* (L.) R. Br. (*Cruciferae*), *Pancratium maritimum* L. (*Amaryllidaceae*), *Teucrium dunense* Sennen (*Labiatae*), *Halimium halimifolium* (L.) Willk. (*Cistaceae*), *Phillyrea angustifolia* L. (*Oleaceae*), *Rhamnus oleoides* L. subsp. *angustifolia* (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez (*Rhamnaceae*), *Myrtus communis* L. (*Myrtaceae*) y *Ephedra distachya* L. (*Ephedraceae*). Para las descripciones de las especies se ha seguido (Castroviejo, 1986-2010; Mateo & Crespo, 2009; Martin, 1946; Martin & Barkley, 1961). Las medidas de las semillas se realizaron sobre las muestras recolectadas.

Las semillas utilizadas se recolectaron durante el verano de 2002 en diversas localidades costeras de la Comunidad Valenciana: Playa de Xilxes (Xilxes, Castellón), Playa de Almenara (Almenara, Castellón), Playa de Corinto (Sagunto, Valencia), Playa de la Devesa de El Saler (Valencia), Mareny de Vilxes (Sueca, Valencia), Mareny de Sant Llorenç y Cap Blanc (Cullera, Valencia) (figura 2.1).

El estado de conservación de las distintas localidades es diverso. Según el Inventario de los Sistema Dunares de Valencia (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, Institut d'Ecologia Litoral, Tragsec), en octubre de 2008, se puede deducir que éstos están sometidos a una fuerte presión antrópica desde hace más de 50 años. Los ecosistemas dunares, en los cuales se ha recogido material para su posterior uso en el laboratorio en el marco de esta tesis, son:



Fig. 2.1: Localización geográfica de las playas en las que se recolectaron semillas, e imágenes de las mismas.

<i>Especies</i>				
Especie	Localidad	Fecha de recolección	Recolector	nº ref. accesión
<i>Cakile maritima</i>	Mareny de San Llorenç (Cullera, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	202B2002
<i>Glaucium flavum</i>	Playa de Xilxes (Xilxes, Castellón)	julio 2002	C. López Valiente	195B2002
<i>Elymus farctus</i>	Mareny de San Llorenç (Cullera, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	206B2002
<i>Calystegia soldanella</i>	Mareny de San Llorenç (Cullera, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	183B2003
<i>Medicago marina</i>	Mareny de Vilxes (Sueca, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	190B2002
<i>Lotus creticus</i>	Cap Blanc (Cullera, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	183B2003
<i>Crucianella maritima</i>	El Saler (Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	207B2002
<i>Pancreatium maritimum</i>	Mareny de San Llorenç (Cullera, Valencia)	septiembre 2002	C. López Valiente	200B2003
<i>Malcolmia littorea</i>	Mareny de San Llorenç (Cullera, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	194B2002
<i>Halimium halimifolium</i>	El Saler (Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	197B2002
<i>Teucrium danense</i>	Playa de Corinto (Sagunto, Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	203B2002
<i>Rhamnus oleoides</i> subsp. <i>angustifolia</i>	El Saler (Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	193B2003
<i>Phillyrea angustifolia</i>	El Saler (Valencia)	julio 2002	C. López Valiente	187B2003
<i>Myrtus communis</i>	El Saler (Valencia)	julio 2002	F. Collado	185B2003
<i>Ephedra distachya</i>	Playa de Almenara (Almenara, Castellón)	julio 2002	C. López Valiente	190B2003

Tabla 2.1: Recolección de las especies.

- Sistema dunar de las playas de Sagunto y Canet d'En Berenguer: en este sistema dunar se encuentra la playa de Corinto, generada por los aportes sedimentarios del río Palancia. Esta playa, en concreto, está bastante alterada, presentando vegetación nitrófila.
- Sistema dunar de la Devesa de El Saler: este sistema dunar se encuentra formado por tres tramos: norte (Playas de l'Árbre del Gos y de El Saler), centro (Playa de la Garrofera) y sur (Playa de la Devesa). Todo el conjunto se encuentra muy bien conservado, según fuentes del Ministerio, como consecuencia de todas las actuaciones que se han llevado a cabo y se están realizando actualmente. Este espacio comenzó a recuperarse en 1983, cuando el Ayuntamiento de Valencia aprobó el Plan Especial de Protección y Reforma Interior del Monte de la Dehesa de El Saler.
- Sistema dunar de la Albufera: este sistema dunar lo forman cuatro tramos, que de norte a sur son: La Albufera-Playa del Recatí, El Perelló-Les Palmeres, Playa del Mareny de Barraquetes-Bega de Mar y Sistema dunar de Cullera (Mareny Blau, Mareny de Vilxes, Mareny de Sant Llorenç, Playa del Dosser) que incluye el sur de Sueca. La presión antrópica es muy alta, situándose la zona menos urbanizada hacia el sur.

2.1.1. *Cakile maritima* Scop. (*Cruciferae*)

Terófito escaposo, anual, glauco y glabro, de unos 40 cm. Las hojas son carnosas, pinnatihendidadas, con lóbulos desiguales de borde entero o dentado, figura 2.2 (der.).



Fig. 2.2: *Cakile maritima*. Planta (der.). Semillas (izq.).

Las flores son de color rosa o lila pálido, de 1 cm de diámetro. Fruto tipo silícula, de hasta 3 cm, con dos artejos monospermos, siendo mayor el superior, cuya forma recuerda una mitra, aspecto que lo hace inconfundible. Pueden encontrarse plantas en flor a lo largo de todo el año. Las semillas son ligeramente reniformes, figura 2.2 (izq.), de 4.5 x 2.5 mm aproximadamente, de color pardo claro y superficie lisa con dos estrías longitudinales. El embrión es tipo curvado. Es una especie frecuente en los arenales costeros, con aporte de materia orgánica. Distribución cosmopolita. Abundante.

2.1.2. *Glaucium flavum* Crantz (*Papaveraceae*)

Hemicriptofito escaposo bianual o perenne, escasamente tomentoso y con látex amarillo, figura 2.3 (der.). Tallos de hasta 80 cm y muy ramificados. Hojas de 15-30 x 4-5.5 cm; las basales son mayores que las caulinares, pecioladas, con segmentos ovados u oblongos, enteros o irregularmente dentados y terminados en arista; las caulinares sésiles y amplexicaules. Las flores son hermafroditas, regulares, solitarias, terminales o axilares, y grandes. Floración de marzo a julio. Fruto cápsula de aspecto de silicua, de 13-30 cm de longitud, cilíndrica, más o menos recurvada, con superficie verrucosa o tuberculado-escabra y glabra; bilocular, dehiscente desde el ápice por dos valvas y conteniendo numerosas semillas.



Fig. 2.3: *Glaucium flavum*. Planta (der.). Semillas (izq.).

Las semillas, figura 2.3(izq.), son ovoideo-reniformes de 1.5 x 1 mm, de color negro y superficie reticulada. Embrión tipo rudimentario. Planta de pedregales, terrenos baldíos y playas de piedras. Propia de ambientes algo nitrificados de playas y dunas litorales. Distribución holártica. Poco abundante.

2.1.3. *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis (*Gramineae*)

Geofito rizomatoso con altura de 3-7 dm, figura 2.4a. Forma céspedes poco densos porque tiene rizomas subterráneos. La inflorescencia es una espiga donde las espiguillas están directamente aplicadas en el tallo. Floración de mayo a julio. El fruto es una cariósida fusiforme con un surco en la cara ventral. Las semillas, figura 2.4b, son de 7 x 2 mm de color amarillo pálido. Embrión tipo lateral. Planta de arenales costeros con distribución mediterránea-atlántica. Abundante.

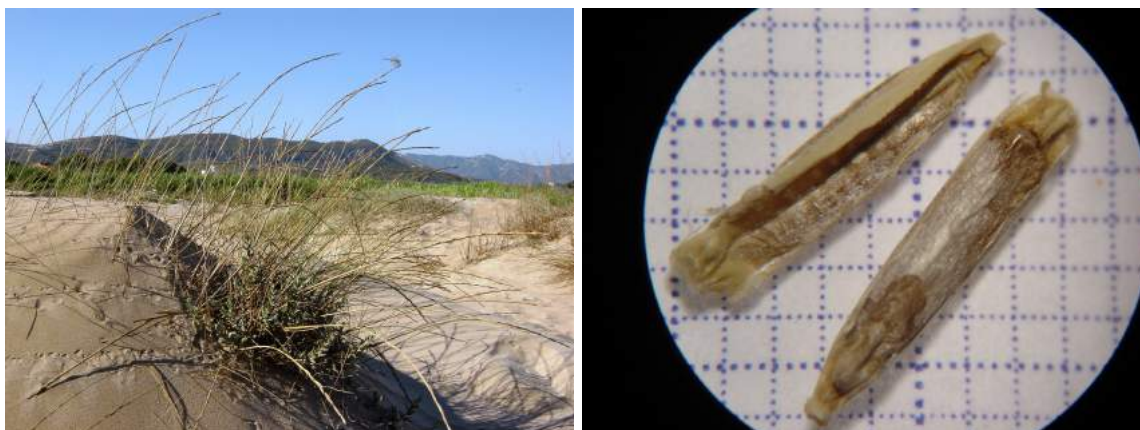


Fig. 2.4: *Elymus farctus*. Planta (a). Semillas (b).

2.1.4. *Calystegia soldanella* R. Br. (*Convolvulaceae*)

Geófito rizomatoso, con tallos rastreros y hojas carnosas de contorno arriñonado, véase la figura 2.5 (der.). Altura de 4-14 cm. Presenta flores acampanadas solitarias de aproximadamente 6 cm de largo y con pedúnculo cuadrangular. La flor está formada por cinco pétalos soldados de color rosa con estrías blancas. Floración de marzo a junio. El fruto es una cápsula con dehiscencia longitudinal, de 15 x 10 mm. Las semillas, figura 2.5 (izq.), son oscuras y trigonas o subesféricas con testa coriácea lisa, en número de 3-4 por fruto. Presentan dos caras planas y una convexa con un hilo redondeado y superficie lisa, de 5 x 6 mm aproximadamente. Embrión

tipo doblado. Planta de arenales costeros con distribución cosmopolita. Abundancia media.

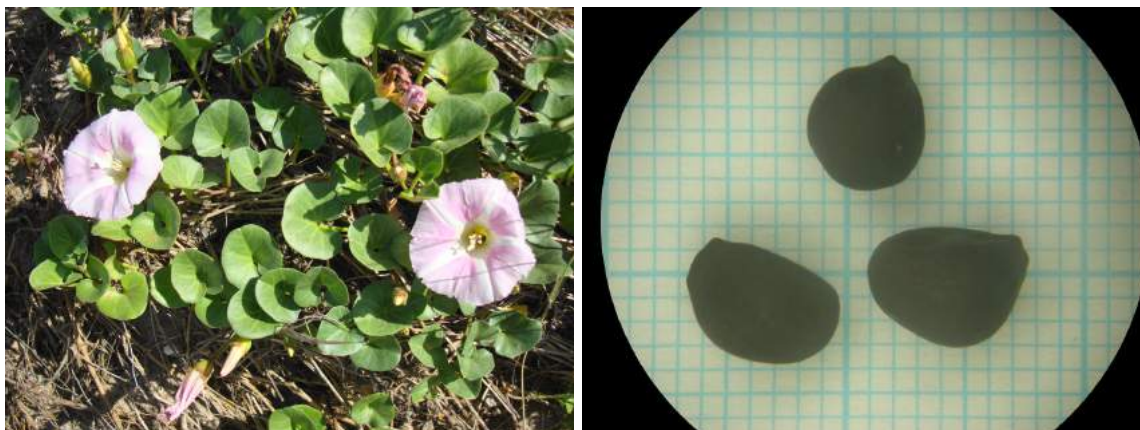


Fig. 2.5: *Calystegia soldanella*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.5. *Medicago marina* L. (*Leguminosae*)

Caméfito sufruticoso con tallos de 2-5 dm, postrados, figura 2.6 (der.). Esta planta está toda ella cubierta de pilosidad densa que le da un aspecto blanquecino. Hojas trifolioladas densamente blanquecino-tomentosas. Flores amarillas de 5 a 8 mm de longitud, dispuestas en glomérulos de 3 a 15 flores. Floración de marzo a junio. El fruto es una legumbre en forma de hélice espinosa con un orificio central notable. Mide entre 4-6 mm de diámetro y presenta entre dos y cuatro espiras.



Fig. 2.6: *Medicago marina*. Planta (der.). Semillas (izq.).

El fruto preserva venas marginales y submarginales engrosadas con dos filas de espinas cortas y cónicas. Las semillas, véase la figura 2.6 (izq.), miden 2 x 3 mm aproximadamente y son reniformes de color pardo claro, de superficie lisa. Embrión tipo curvado. Propia de arenales costeros con distribución mediterránea-atlántica. Abundante.

2.1.6. *Lotus creticus* L. (*Cruciferae*)

Caméfito sufruticoso perenne, con los tallos de hasta 150 cm, leñosos en la base y ramificados, figura 2.7 (der.). Hojas compuestas, con cinco folíolos, cubiertas con una densa pubescencia sedosa. Inflorescencias con 2-6 flores amarillas sobre pedúnculos de 15-18 mm. Frutos en legumbre cilíndrica recta y alargada, de 2 a 5 cm. Florece de febrero a junio. Las valvas de la legumbre, en la dehiscencia, se arrollan en tirabuzón sobre el eje mayor, asemejándose cada una de las valvas a un cuernecillo, favoreciendo así la caída y dispersión de las semillas. Las semillas, figura 2.7 (izq.), son de 1 x 1 mm aproximadamente, globosas y pardas, con frecuencia moteadas y superficie bastante lisa. Embrión tipo curvado. Presenta distribución mediterránea, frecuente en matorrales de dunas y arenales costeros. Abundancia media.



Fig. 2.7: *Lotus creticus*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.7. *Crucianella maritima* L. (*Rubiaceae*)

Caméfito sufruticoso con altura de 1-4 dm. Presenta tallos blanquecinos y hojas agrupadas en verticilos de cuatro, figura 2.8 (der.). Las flores son hermafroditas y están dispuestas en espigas de 20-60 mm de longitud. Floración de mayo a julio. El fruto es glabro con dos mericarpos, estrechamente ovoides y con una semilla

cada uno. Las semillas, figura 2.8b, miden aproximadamente 2 x 1 mm y son de color pardusco con superficie rugosa. Embrión tipo espatulado. Propia de arenales costeros con distribución mediterráneo central y occidental. Abundante.

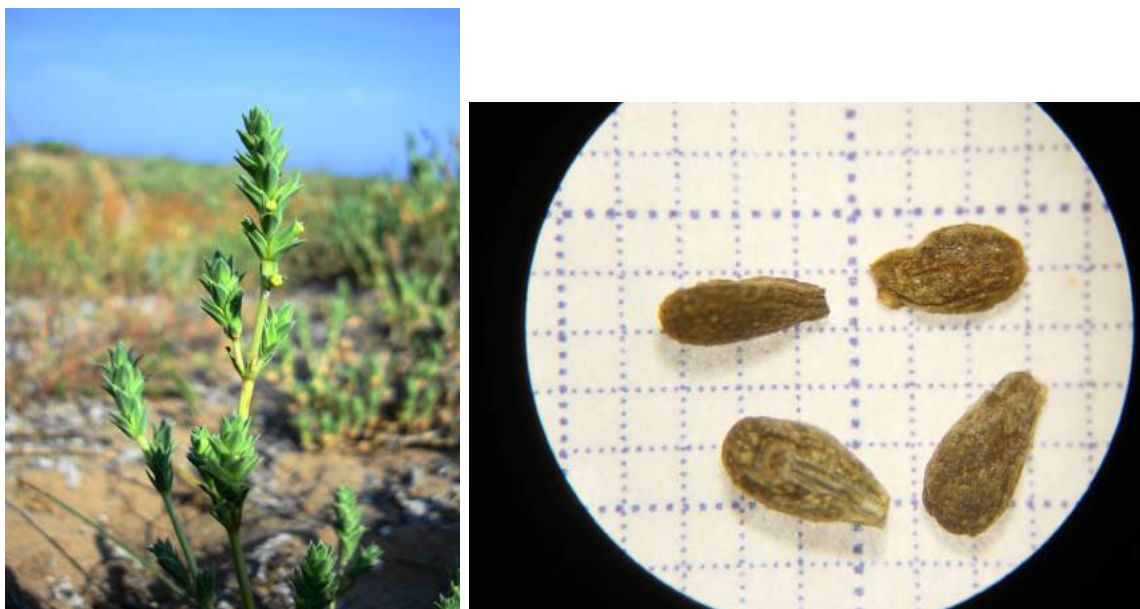


Fig. 2.8: *Crucianella maritima*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.8. *Malcolmia littorea* (L.) R. Br. (*Cruciferae*)

Caméfito sufruticoso, altura de 1-4 dm. Presenta tallos postrados, erectos o ascendentes de color blanco-ceniza con gran cantidad de pelos estrellados, figura 2.9 (der.).



Fig. 2.9: *Malcolmia littorea*. Planta (der.). Semillas (izq.).

Las flores son hermafroditas con cuatro pétalos de 15-18 mm de longitud y color rosado-lila. Floración de abril a junio. El fruto es una silicua linear de 30-60 x 1-1.5 mm de sección circular. Las semillas, figura 2.9 (izq.), son de 1 x 0.5 mm aproximadamente, de color castaño oscuro, ovoides y con superficie reticular-rugosa. Embrión tipo curvado. Propia de arenales costeros con distribución mediterránea occidental. Abundante.

2.1.9. *Pancratium maritimum* L. (*Amaryllidaceae*)

Geófito bulboso con altura de 2-5 dm. Presenta un bulbo enterrado de 5-7 x 4-5 cm con cuello bastante largo, véase la figura 2.10 (der.). El escapo floral puede llegar a medir más de 5 cm. Las hojas basales son carnosas y glaucas en número de 4-6, y unas dimensiones de 50 cm x 2 cm. Las flores se disponen en umbela con 5-15 unidades alternando con brácteas, de color blanco y fragancia intensa. Floración de junio a septiembre. El fruto es una cápsula subglobosa con varias semillas. Las semillas, véase la figura 2.10 (izq.), son trigonas negras, angulosas, brillantes y con testa esponjosa, de 1 x 0.8 cm aproximadamente. Embrión tipo linear. Arenaes costeros con distribución mediterránea. Poco abundante. Esta planta es frecuente verla afectada con orugas de *Brithys crinii* subsp. *pancrati* sobre sus hojas, ya que le sirven de alimento.



Fig. 2.10: *Pancratium maritimum*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.10. *Teucrium dunense* Sennen (*Labiatae*)

Caméfito sufruticoso con altura 1-5 dm. Este pequeño arbusto presenta una coloración gris-blanquecina, con las ramas erectas. Las hojas inferiores usualmente presentan un solo foliolo oblongo obtuso, figura a 2.11 (der.), lanceolado lineares, estrechas, resolutas, crenadas al menos desde el tercio basal.. Inflorescencias glomeruladas terminales laxas con flores amarillas. Florece de mayo a julio. El fruto está formado por 1-4 aquenios ovoideos, pequeños y monospermos. Las semillas, figura 2.11 (izq.), miden 3 x 1 mm aproximadamente y son de color castaño. Embrión tipo espatulado. Presente en arenales costeros con distribución mediterráneo occidental. Abundante.



Fig. 2.11: *Teucrium dunense*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.11. *Halimium halimifolium* (L.) Willk. (*Cistaceae*)

Nanofanerofito de altura de 5-15 dm muy ramoso, de color plateado, que posee las hojas ovales opuestas, figura 2.12 (der.). Las flores amarillas son grandes y vistosas y los pétalos suelen poseer una mancha negra o mácula en la base. Floración de marzo a junio. Las semillas, figura 2.12 (izq.), son poliédrico convexas, tuberculadas de color gris a castaño, miden aproximadamente 1 mm de diámetro. Embrión tipo espatulado. Matorral seco, aparece en arenales con distribución mediterránea centro-occidental. Poco abundante.



Fig. 2.12: *Halimium halimifolium*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.12. *Phillyrea angustifolia* L. (*Oleaceae*)

Nanofanerofito/Mesofanerofito siempreverde de hasta 3 metros de altura. Hojas opuestas de 3-8 x 0.5-1.5 cm, enteras, a veces ligeramente serruladas en el ápice, linear-lanceoladas y ligeramente coriáceas, figura 2.13 (der.). Flores pequeñas, blanco-verdosas, hermafroditas, agrupadas en cortos racimos axilares. Fruto en drupa de 5-6 x 4-5 mm, subgloboso y apiculado. Florece de marzo a mayo y los frutos maduran en otoño. Las semillas, véase la figura 2.13 (izq.), miden 4 x 4 mm aproximadamente. Embrión tipo espatulado. Presente en el matorral seco con distribución mediterráneo central y occidental. Bastante abundante.

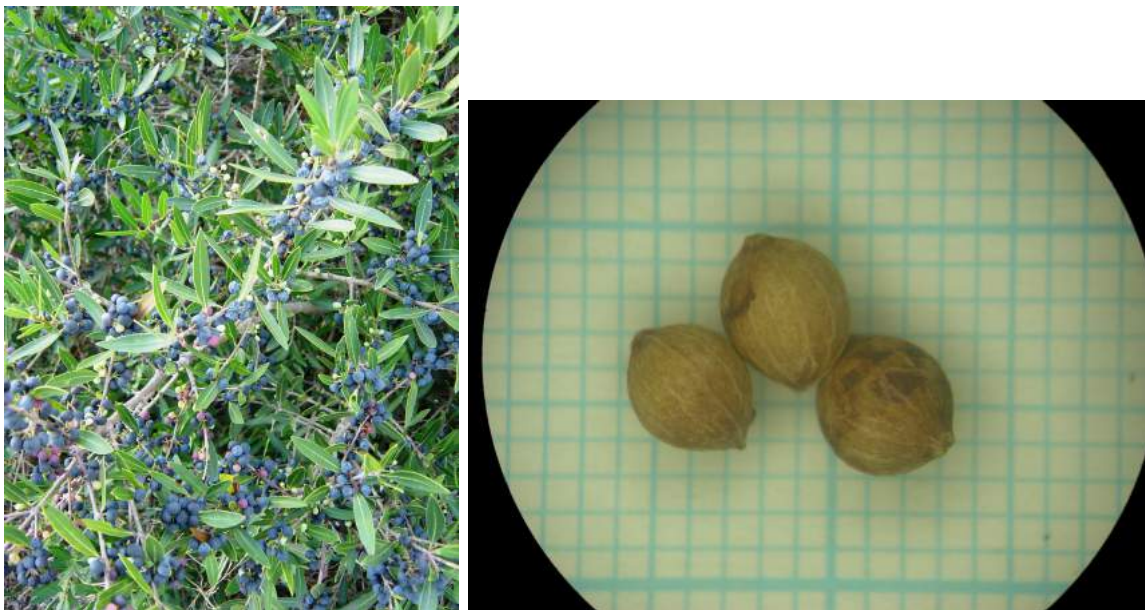


Fig. 2.13: *Phillyrea angustifolia*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.1.13. *Rhamnus oleoides* L. subsp. *angustifolia* (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez (*Rhamnaceae*)

Nanofanerofito con altura de 5-20 dm perennifolio de hasta 3 m, con ramas largas y flexibles, figura 2.14 (der.). La corteza es lisa y grisácea. Las hojas opuestas, simples, correosas, largas y estrechas, cortamente pecioladas. La inflorescencia es en racimos axilares cortos, con flores hermafroditas.



Fig. 2.14: *Rhamnus oleoides* subsp *angustifolia*. Planta (der.). Semillas (izq.).

Floración de marzo a mayo. El fruto es una drupa globosa u ovoidea, de 5-8 mm, rematada en pico, con uno o dos pirenos, que toma color negro-azulado en la madurez. Las semillas, véase la figura 2.14 (izq.), miden 4 x 2.3 mm aproximadamente. Embrión tipo invertido. Forma parte de coscojares y lentiscares con distribución mediterráneo sur-occidental. Abundante.

2.1.14. *Myrtus communis* L. (*Myrtaceae*)

Nanofanerofito aromático, que puede alcanzar los 5 metros de altura, figura 2.15 (der.). Sus tallos tienen un débil color pardo. Son rectos y ligeramente pubescentes. De cada nudo nace un par de hojas enfrentadas, normalmente dispuestas en verticilos de 3. Son lustrosas, con pecíolo corto y de forma ovado-lanceolada. Son glabras y de color verde oscuro en su haz, y pelosas en los nervios del envés, con un verde más claro. Flores solitarias y aromáticas. El fruto es de elipsoideo a subgloboso, coronado por el cáliz persistente, de un color negro-azulado. Cada fruto contiene de 2 a 20 semillas, variando según la población.



Fig. 2.15: *Myrtus communis*. Planta (der.). Semillas (izq.).

Normalmente florece entre junio y agosto, pero en ocasiones puede hacerlo incluso en octubre. Las semillas, véase la figura 2.15 (izq.) son de 3 x 2 mm de tamaño, reniformes y tienen un color marrón a blanco brillante. Embrión tipo lineal. Planta de matorral y bosque perenne. Distribución mediterránea con abundancia media.

2.1.15. *Ephedra distachya* L. (*Ephedraceae*)

Nanofanerofito que alcanza entre los 20 y 100 cm de altura con ramas articuladas, figura 2.16 (der.). Las ramas jóvenes son finas, de hasta 1 mm de grosor, de color verde amarillento. Las hojas adultas son blanquecinas, transformadas en dos pequeñas escamas opuestas en el nacimiento de las ramas, de entre 1-2 mm. Flores amarillo-verde (Abril - Junio) sin cáliz ni corola, aglomeradas en inflorescencias pedunculadas. Es una especie dioica con conos femeninos que se disponen solitarios o en parejas en la zona axilar de las hojas, con 2-3 pares de brácteas de las cuales, sólo las terminales son fértiles. Los conos masculinos están sentados en las articulaciones, con brácteas opuestas, de 4 a 8 pares. Los frutos son sincárpicos de unos 6 x 2 mm de tamaño, de forma oblongo-elipsoidal, y que se disponen en las articulaciones de las ramas. Cada fruto se compone de dos mitades carnosas y rojizas, que protegen las semillas. Éstas, figura 2.16 (izq.), son cónicas o trapezoidales y de unos 4 x 2.5 mm y son de color marrón oscuro. Embrión tipo espatulado. Presente en el matorrales y roquedos soleados, con distribución mediterránea-iranoturánica. Poco abundante.

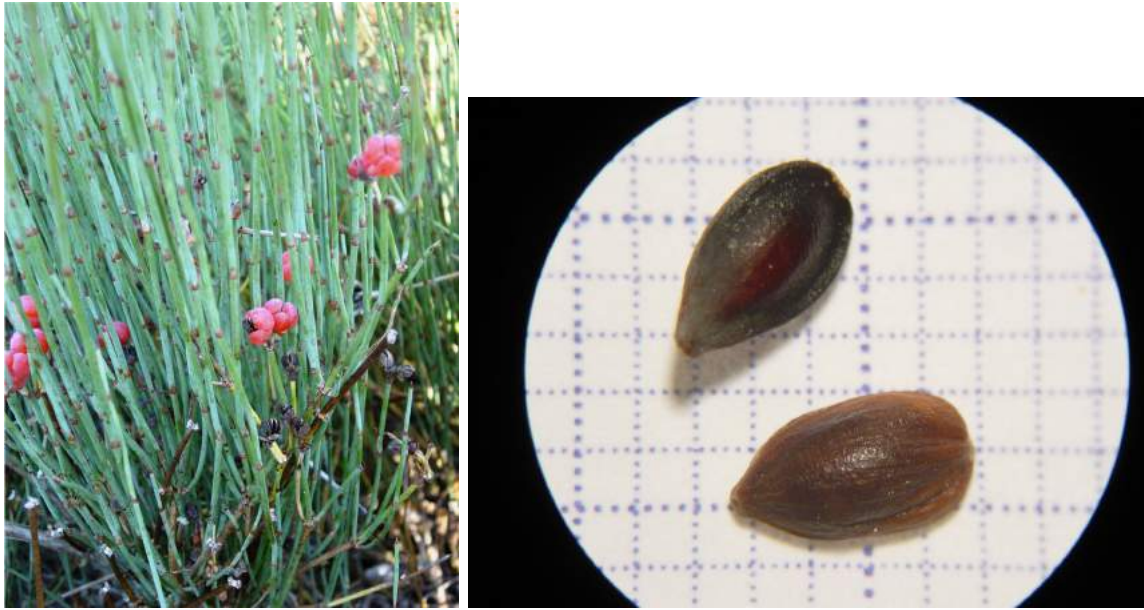


Fig. 2.16: *Ephedra distachya*. Planta (der.). Semillas (izq.).

2.2. Vegetación dunar. Descripción de las comunidades estudiadas

Esta tesis se ha centrado en la vegetación litoral, aquella que está influida directamente por la presencia del mar. Las costas pueden ser bien de sedimentación, en las que se incluyen las playas de arena y grava, que presentan una vegetación dispuesta en paralelo a la línea de costa, y las costas de restinga y albufera, o bien de erosión, es decir, acantilados (Roselló, 1969).

Los ambientes litorales y concretamente las playas, que deben su origen a la sedimentación marina, constituyen un medio hostil para la mayoría de las plantas, que tienen que hacer frente a una serie de factores adversos que además condicionan su distribución, en función de la influencia relativa de cada uno de ellos o de sus interacciones. Estas características implican la presencia de un tipo de comunidades vegetales generalmente poco diversas.

Entre los factores que determinan la vida en las dunas se encuentran el viento, la disponibilidad de nutrientes, la escasa retención de agua que se filtra rápidamente y deja unas condiciones de aridez que, junto con la elevada insolación y altas temperaturas en superficie, tienen un papel fundamental. De entre ellos el viento, que se traduce en una movilidad del sustrato que provoca un enterramiento o desenterramiento total de las plantas, tiene una gran importancia, influyendo, además de en la movilización de la arena, en la abrasión por sal y en el crecimiento (Alcaraz & Garre, 1985; Barbour *et al.*, 1985). Por otra parte, aporta una serie de compuestos

orgánicos e inorgánicos que constituyen la fuente más importante de nutrientes para las plantas (Yu *et al.*, 2004) en este tipo de suelos con poca capacidad de retención.

Como características ambientales favorables de estos ambientes se podría considerar la elevada humedad del aire y una limitada competencia por el espacio, nutrientes y otros recursos (García-Novo *et al.*, 2004).

Para adaptarse a las condiciones ecológicas las plantas dunares tienen diferentes estrategias. Estas estrategias pasan por adaptaciones tanto morfológicas como fisiológicas, que forman parte de mecanismos de tolerancia, escape o evitación propios de las plantas sometidas a distintos tipos de estrés hídrico. Así, la zonación de la vegetación en las dunas dependerá además de la combinación de los distintos factores ecológicos y de las condiciones ambientales locales (Maun, 2009).

En función de su capacidad de tolerancia o adaptación a estos condicionamientos ecológicos, las plantas y comunidades vegetales se desarrollan a una menor o mayor distancia al mar. Si se parte de las zonas más próximas al mar hacia el interior, en función del tipo de playa y de su estado de conservación, podremos diferenciar las siguientes zonas:

Zona influida por el oleaje: afectada por inundaciones periódicas, sobre suelos de arena o grava, ricos en materia orgánica depositada por el mar y sometida a condiciones ambientales adversas. Está caracterizada por vegetación nitrófila, pobre en especies con plantas principalmente anuales que soportan la salinidad del sustrato y el efecto directo del fuerte viento y la elevada insolación. Esta vegetación se repite en todas las playas de la cuenca mediterránea de modo desigual, en función del grado de pendiente y sobre todo de la actividad humana. Las especies características en playas de arena son *Salsola kali*, *Cakile maritima*, *Polygonum maritimum*, etc. (*Salsola kali* - *Cakiletum maritimae* Costa & Mansanet 1981). En las playas de guijarros a las condiciones particulares de este tipo de ambientes hay que añadir el efecto mecánico del sustrato, aquí la vegetación está caracterizada por la papaveracea *Glaucium flavum* (*Hypochoerido radicatae* - *Glaucietum flavi* Rivas Goday & Rivas -Martínez 1958).

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE 1210 Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados

Dunas embrionarias: constituyen las primeras acumulaciones de arena con vegetación de baja cobertura y escaso porte, adaptada a la sequedad, debida al viento y al fuerte drenaje, así como a la movilidad del sustrato a través de un sistema radicular muy desarrollado, para aguantar en un medio inestable y acceder al

agua. Con este tipo de hábitat se inicia el proceso de colonización dunar, con especies como, *Elymus farctus*, *Eryngium maritimum*, *Sporobolus pungens*, *Calystegia soldanella*, etc. que forman el característico lastonar. (*Cypero mucronati - Elytrigietum juncei* Br.-Bl.1933 nom mut.)

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la directiva 92/43/CEE 2110 Dunas móviles embrionarias.

Dunas móviles: Cordón formado por un sustrato todavía móvil que constituye una verdadera barrera de protección frente a los vientos marinos. El estar más alejado de la influencia directa del mar, y la presencia de algo más de materia orgánica en el sustrato permite un aumento de la diversidad vegetal así como un aumento de la cobertura, que se debe principalmente al barrón (*Ammophila arenaria* subsp. *australis*) especie característica de la asociación *Medicagini marinae - Ammophiletum australis* Br.-Bl. 1921 corr. F. Prieto & T.E. Díaz 1991, así como a otras que lo acompañan: *Medicago marina*, *Otanthus maritimus*, *Echinophora spinosa*, etc.

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la directiva 92/43/CEE/ 2120 Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria*.

Dunas fijas: protegidas del viento por el cordón de dunas móviles, tienen un menor aporte de sales y menor movilidad de la arena por lo que es posible un incipiente desarrollo edáfico, un mayor contenido de materia orgánica y una mayor estabilidad del sustrato. La vegetación corresponde a un matorral de pequeña talla, por la influencia del viento que impide el desarrollo de vegetación arbustiva y arbolada, en el que la especie dominante es *Crucianella maritima* acompañada de otras plantas como *Helichrysum stoechas*, *Ononis natrix* subsp. *ramosissima*, *Pancretium maritimum*, *Malcolmia littorea*, etc. (*Crucianelletum maritimae* Br.-Bl. 1933).

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE/ 2210 Dunas fijas del litoral de *Crucianellion maritimae*.

Dunas estabilizadas: el mayor desarrollo edáfico y la menor influencia de los vientos marinos permite el desarrollo de un matorral camefítico de cobertura media, talla variable y elevada diversidad en especies, superior a la de las comunidades que colonizan las dunas fijas y móviles. Este matorral está caracterizado por *Teucrium dunense* y *Halimium halimifolium*, características de la asociación *Teucrio belionis - Halimietum halimifolii* Costa & Mansanet 1981. Esta asociación, que agrupa los matorrales heliófilos y psamófilos, principalmente mediterráneos sobre

suelos carbonatados, representa la etapa de sustitución de los enebrales y pinares sobre arenas.

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE/2260 Dunas con vegetación esclerófila de *Cisto-Lavanduletalia*.

Zona de vegetación preforestal: sobre suelos completamente estabilizados se desarrollan bosquetes de variada cobertura en función de la distancia al mar y por tanto de la influencia del viento. Estas formaciones, que marcan el paso hacia la vegetación continental, están caracterizadas por especies como *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*, *Phillyrea angustifolia*, *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*, *Pistacia lentiscus*, *Smilax aspera*, *Rhamnus alaternus*, etc. formando coscojares y lentiscares y, en algunas zonas asociadas a un dosel de *Pinus halepensis*. Corresponden a la asociación *Phillyreo angustifoliae* - *Rhamnetum angustifoliae* Costa & Mansanet 1981.

Tipo de hábitat en el anexo 1 de la directiva 92/43/CEE/2250 Dunas litorales con *Juniperus spp.*

Depresiones: zonas deprimidas ("mallades") situadas entre los cordones dunares y en las que la capa freática está próxima. Tienen un mayor o menor grado de encharcamiento en función de la topografía y una vegetación variable en función de esta y de la salinidad edáfica, desde juncales de talla y cobertura variada hasta saladares, en las zonas con mayor concentración de sal. Estas comunidades no han sido objeto de estudio.

2.2.1. Catena de vegetación

En la figura 2.17 se representa esquema catenal teórico de vegetación para un ecosistema litoral de las zonas estudiadas, concretamente para la Devesa de El Saler (Valencia), modificado a partir de (Costa, 1986):

2.2.2. Esquema sintaxonómico

1. *CAKILETEA MARITIMAE* Tüxen & Preising *ex* Br.-Bl. & Tüxen 1952

1.1. *Cakiletalia integrifoliae* Tüxen *ex* Oberdorfer 1949 corr. Rivas-Martínez, Costa & Loidi 1992

1.1.1. *Cakilion maritimae* Pignatti 1953

1.1.1.1. *Salsolo kali-Cakiletum aegyptiaceae* Costa & Mansanet 1981

1.1.1.2. *Hypochoerido radicatae-Glaucietum flavi* Rivas Goday & Rivas-Martínez 1958

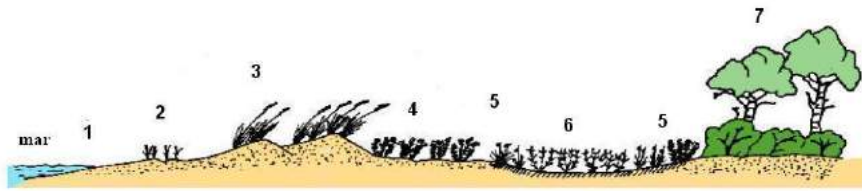


Fig. 2.17: Catena de vegetación:(1) *Salsola kali-Cakiletum aegyptiaceae*, (1) *Hypochaerido radicatae-Glaucietum flavi*, (2) *Cypero mucronati-Elytrigietum junceae*, (3) *Medicagini marinae-Ammophiletum australis*, (4) *Crucianelletum maritimae*, (5) *Teucrio belionis-Halimietum halimifolii*, (6) *Schoeno-Plantaginetum crassifoliae*, (6) *Puccinellio-Salicornietum fruticosae*, (7) *Phillyreo angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae*. Modificado a partir de (Costa, 1986)

2. *AMMOPHILETEA ARENARIAE* Br.-Bl. & Tüxen *ex* Westhoff, Dijk & Passchieer 1946.

2.1. *Ammophiletalia* Br.-Bl. 1933.

2.1.1. *Honckenyo peploidis-Elytrigion junceiformis* Tüxen *in* Br.-Bl. & Tüxen 1952 nom. inv. et nom. mut. prop.

2.1.1.1. *Elytrigion junceae* Rivas-Martínez, Costa, Castroviejo & Valdés 1980 nom. mut. prop.

2.1.1.1.1. *Cypero mucronati-Elytrigietum junceae* Br.-Bl. 1933 nom. mut. prop.

2.1.2. *Ammophilion australis* Br.-Bl. 1921 corr. Rivas-Martínez, Costa & Izco *in* Rivas-Martínez, Loussã, T.E. Díaz, Fernández-González & J.C. Costa 1990.

2.1.2.1. *Ammophilenion australis* Rivas-Martínez, Costa & Izco *in* Rivas-Martínez, Loussã, T.E. Díaz, Fernández-González & J.C. Costa 1990.

2.1.2.1.1. *Medicagini marinae-Ammophiletum australis* Br.-Bl. 1921 corr. F. Prieto & T.E. Díaz 1991.

2.2. *Crucianelletalia maritimae* Sissingh 1974.

2.2.1. *Crucianellion australis* Rivas Goday & Rivas-Martínez 1958.

2.2.1.1. *Crucianelletum maritimae* Br.-Bl. 1933.

3. *ROSMARINETEA OFFICINALIS* Rivas-Martínez, T.E. Díaz, F. Prieto, Loidi & Penas 2002.

3.1. *Rosmarinetalia officinalis* Br.-Bl. *ex* Molinier 1934.

3.1.1. *Rosmarino-Ericion multiflorae* Br.-Bl. *in* Br.-Bl., Font Quer, G. Braun-Blanquet, Frey, Jansen & Moor 1935 nom. conserv.

3.1.1.1. *Halimienion halimifolii* Rivas-Martínez & Costa, P. Soriano, Pérez-Badía, Llorens & Roselló 1992.

3.1.1.1.1. *Teucrio belionis-Halimietum halimifolii* Costa & Mansanet 1981.

4. *QUERCETEA ILICIS* Br.-Bl. ex A. & O. Bolós 1950.

4.1. *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni* Rivas Martínez 1975.

4.1.1. *Oleo sylvestris-Ceratonion siliquae* Br.-Bl. ex Guinochet & Drouineau 1944 em. Rivas-Martínez 1975.

4.1.1.1. *Phyllireo angustifoliae-Rhamnetum angustifoliae* Costa & Mansanet 1981.

2.2.3. Descripción de los suelos

Los suelos en los cuales se asienta la vegetación dunar estudiada son arenosoles (FAO-UNESCO, 1988; Rubio *et al.*, 1995, 1998), típicos de arenales costeros, barras litorales y areniscas del Buntsandstein. En estos suelos predomina la fracción arena, no están evolucionados, presentan una escasa o nula incorporación de materia orgánica y tienen un perfil uniforme. En general tienen una fertilidad muy baja. Las características físicas son las que más condicionan la vegetación: la textura arenosa (escasa capacidad de retención de agua que implica estrés hídrico), la aireación debida al tamaño de los poros (oxidación y rápida mineralización de la materia orgánica) y el calentamiento (por el bajo calor específico del cuarzo). Otra característica importante es la fragilidad ante la erosión, principalmente la eólica. Por esta razón es muy importante la cubierta vegetal, encargada de fijar el suelo.

Los arenosoles de la Comunidad Valenciana se clasifican en subunidades (Rubio *et al.*, 1995): arenosoles háplicos, arenosoles cámbicos, arenosoles álbicos, arenosoles calcáricos, y arenosoles gleicos. Todos ellos tienen un perfil indiferenciado, excepto el perfil representativo Duna-Devesa que presenta un horizonte B cámbico con un 31.17 % de carbonatos, un alto contenido en arena (71-96 %), un bajo contenido en arcillas (menos del 8 %), baja estabilidad estructural, escasa capacidad de retención de agua y muy bajo porcentaje de materia orgánica (menor del 1 %).

Dos ejemplos característicos de las zonas de estudio serían (Rubio *et al.*, 1995):

- El perfil Duna-Devesa (camino de la Devesa hacia la Gola del Pujol) es un perfil representativo de arenosol calcárico con un horizonte AC (0-10 cm de profundidad) que presenta una salinidad de 0.18 (dS/m), un pH (saturación agua) de 8.00 y 1.19 % de materia orgánica, la relación C/N es de 10.78, el intercambio catiónico (cmol.(+)kg⁻¹) es de 3.00 y el porcentaje de saturación de bases del 100 %. y, un horizonte C (10-100 cm de profundidad) con una salinidad de 0.90 (dS/m), pH (saturación agua) de 8.30 y 0.05 % de materia orgánica, la relación C/N es de 1.29,

el intercambio catiónico ($\text{cmol.}(+)\text{kg}^{-1}$) es de 1.26 y el porcentaje de saturación de bases del 100 %.

- El perfil Dunas (Playa de Canet d'En Berenguer, Valencia) es un arenosol háplico con horizonte AC (0-25 cm de profundidad) con una salinidad de 1.65 (dS/m), un pH (saturación agua) de 7.85 y un 0.20 % de materia orgánica, la relación C/N es de 11.62, el intercambio catiónico ($\text{cmol.}(+)\text{kg}^{-1}$) es de 0.72 y el porcentaje de saturación de bases del 100 %. El horizonte C (+ 25 cm de profundidad) tiene una salinidad de 1.43 (dS/m), un pH (saturación agua) de 8.70 y materia orgánica inapreciable, no hay relación C/N, el intercambio catiónico ($\text{cmol.}(+)\text{kg}^{-1}$) es de 0.65 y el porcentaje de saturación de bases del 100 %.

2.3. Pruebas de germinación

Las semillas se incubaron en cámaras de germinación SANYO MIR-153. Los tubos de luz blanca fría fluorescente (General Electrics F8W/33) emitían una densidad de foco lumínico de 25-125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El criterio de germinación fue la emergencia de la radícula. Las pruebas se mantuvieron un total de 30 días. Para todos los ensayos de germinación se han usado cuatro réplicas de 25 semillas por placa Petri, salvo en el caso de *Calystegia soldanella*. En este último, por la dificultad de obtener un número suficiente de semillas, se trabajó con tres muestras de 25 semillas cada una. Se han utilizado dos medios diferentes de germinación. Para las pruebas del barrido de temperaturas y los ensayos preliminares se utilizó un disco de algodón cubierto por un disco de papel de filtro, y todo ello empapado en agua desionizada. Las semillas se dispusieron sobre el papel de filtro, y el conjunto se re-humedeció cada vez que las semillas lo requerían. Este medio no fue el utilizado para el barrido de sales, a fin de evitar el problema de variación de la concentración de sales que hubiera implicado. En su lugar se usaron placas Petri en las cuales se dispuso una solución de ClNa en agua MiliQ en las condiciones indicadas en la sección 2.3.4 solidificado con agar al 0.6 %.

2.3.1. Pretratamiento de las semillas

Tras la recolección, almacenamiento y secado de las semillas, se procedió a la limpieza de las mismas. Se conservaron en el Banco de Germoplasma del Jardí Botànic de la Universitat de València en condiciones ambientales hasta el inicio de las pruebas, que se llevaron a cabo en los tres meses posteriores. Se decidió escarificar las

semillas de algunas especies a partir de experimentos control realizados a 20°C con fotoperiodo alterno de 12/12 horas luz/oscuridad, a fin de observar el comportamiento de las semillas de las quince especies. A partir de los resultados preliminares se decidió optar por diferentes métodos de escarificado en función de la especie. Las semillas de *Cakile maritima*, *Glaucium flavum*, *Elymus farctus*, *Malcolmia littorea*, *Crucianella maritima*, *Teucrium dunense*, *Pancratium maritimum*, *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia* y *Ephedra distachya* se utilizaron sin tratar, mientras que las semillas del resto de especies fueron escarificadas.

Las semillas de *Calystegia soldanella* y *Phillyrea angustifolia* estuvieron sumergidas en ácido sulfúrico concentrado (riqueza del 96%) durante 6 horas. Las de *Lotus creticus* y *Medicago marina* se sumergieron durante 40 minutos y las de *Myrtus communis* estuvieron cubiertas por el ácido sulfúrico concentrado 30 minutos. Posteriormente al tratamiento químico se lavaron durante cinco minutos en agua corriente. Las semillas de *Halimium halimifolium* se sometieron a un raspado con lija (García-Fayos, 2001).

2.3.2. Selección de condiciones de iluminación durante la germinación

La selección de las condiciones de iluminación durante la germinación se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de dos tipos de datos diferentes:

- *Ex situ*: Resultados de germinación en distintos regímenes lumínicos, oscuridad total y fotoperiodo 12/12h luz/oscuridad a la temperatura de 20°C .
- *In situ*: Medidas de la cantidad de radiación lumínica que llega a diferentes profundidades del suelo en la duna.

Resultados de germinación en distintos regímenes lumínicos. Se realizaron tests de germinación en condiciones de alternancia luz/oscuridad con fotoperiodo 12h/12h, y en condiciones de oscuridad total, en ambos casos a una temperatura de 20°C . De estas pruebas se concluyó que los porcentajes y velocidades de germinación en condiciones de alternancia entre luz y oscuridad eran mucho peores que en condiciones de oscuridad permanente. En algunos casos, ni si quiera hubo germinación en condiciones de alternancia lumínica. Por ellos se escogió la oscuridad total como condición adecuada para este estudio.

Medidas de la cantidad de radiación lumínica que llega a diferentes profundidades del suelo. Para estudios de fotosíntesis y fotomorfogénesis, la cantidad de radiación lumínica que genera actividad fotosintética (PAR, Photosynthetic

Active Radiation) se mide, generalmente, en número de fotones por unidad de área y de tiempo (densidad de flujo cuántico). Las unidades más utilizadas son el $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, donde “mol” se refiere a mol de fotones.

Se realizaron medidas de la cantidad de radiación que llega al suelo, así como a distintas profundidades, con un equipo para la medición de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de la marca Skye, modelo SKP 210. La medidas se llevaron a cabo en las dunas de la playa de El Saler (Valencia), con el sensor tanto en posición horizontal (orientación vertical), como directamente orientado hacia el sol. Los resultados medios obtenidos se muestran en las tablas 2.2 y 2.3. La figura 2.18 muestra el equipo y la toma de medidas.



Fig. 2.18: Medición de la radiación fotosintéticamente activa (PAR)

<i>Orientación vertical</i>	
Profundidad (mm)	Densidad de Flujo Lumínico ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
0	776
0.5	220
1	40
2	15
5	0
20	0

Tabla 2.2: Medidas de radiación con sensor en orientación vertical.

La decisión de hacer todos los experimentos en condiciones de oscuridad se sustenta tanto por los malos resultados obtenidos en alternancia de luz/oscuridad, como

<i>Orientación hacia el sol</i>	
Profundidad (mm)	Densidad de Flujo Lumínico ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
0	1414
1	72
2	68
5	0

Tabla 2.3: Medidas de radiación con sensor con orientación hacia el sol.

por las medidas de radiación lumínicas hechas en el suelo dunar, que indican la ausencia de luz a medio centímetro de profundidad.

Las placas Petri estuvieron recubiertas de papel de aluminio y dentro de una caja de plástico/cartón opaco durante los 30 días que duraban los ensayos. Los conteos se hicieron con la mayor rapidez posible a fin de evitar un tiempo prolongado de exposición a luz.

2.3.3. Selección del barrido de temperaturas

En la figura 2.19 se muestra el rango de temperaturas de trabajo y los puntos seleccionados en el mismo. En la elección del espacio de trabajo se han considerado las características climáticas de las zonas bajo estudio durante las épocas de germinación de las especies seleccionadas. Así, la tabla 2.4 muestra los valores de temperaturas medias, temperaturas medias mínimas y temperaturas medias máximas a lo largo del año en cuatro playas que cubren la zona desde Borriana (Castellón) en el Norte hasta la playa de Sant Llorenç y playa de Cap Blanc (Cullera) en el Sur.

La tabla 2.5 muestra los valores de temperaturas medias, medias mínimas y medias máximas por estaciones. En la misma se observa que las temperaturas medias máximas en la zona no superan los 30°C , las medias mínimas anuales están por encima de los 10°C (sólo en invierno se alcanzan temperaturas medias mínimas entorno a los 5°C), y la diferencia entre las medias máximas y las medias mínimas no suele superar los 10°C .

Teniendo en cuenta los datos climáticos y que la temperatura cerca de la superficie de la arena puede alcanzar temperaturas superiores a las ambientales y, suponiendo que las épocas más probables de germinación son primavera y otoño, así como la disponibilidad de cámaras de germinación, se han considerado los siguientes criterios para la selección de las condiciones experimentales referidas a temperaturas:

Temperaturas medias (°C)													
	Media anual	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.
Borriana	15.9	10.2	9.4	10.0	11.5	13.5	16.5	20.3	23.3	23.7	22.0	17.7	12.8
Sagunt (El Pontatge)	15.8	10.2	9.6	10.4	11.5	13.5	16.3	20.0	23.2	23.5	21.5	17.4	12.8
Sueca	17.9	12.0	11.6	12.4	13.8	15.6	18.7	22.3	25.1	25.4	23.3	19.2	14.8
Cullera (Sant Llorenç)	16.2	10.6	9.8	10.6	12.2	13.8	16.8	20.6	23.7	24.0	21.6	17.5	13.2
Temperaturas medias mínimas (°C)													
	Media anual	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.
Borriana	10.5	4.9	3.8	4.1	5.2	8.1	10.6	14.8	18.2	19.0	17.4	12.7	7.6
Sagunt (El Pontatge)	10.1	4.9	4.0	4.4	4.9	7.3	10.4	14.3	17.6	18.2	15.9	12.0	7.5
Sueca	14.0	8.6	7.9	8.4	9.4	11.3	14.6	18.5	21.4	21.9	19.4	15.4	11.4
Cullera (Sant Llorenç)	11.0	5.9	4.8	5.0	6.1	7.9	11.3	15.5	18.5	19.0	16.2	12.3	8.7
Temperaturas medias máximas (°C)													
	Media anual	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.
Borriana	21.3	15.5	15.0	15.9	17.7	19.0	22.4	25.8	28.4	28.5	26.5	22.6	18.0
Sagunt (El Pontatge)	21.5	15.4	15.2	16.3	18.1	19.7	22.3	25.7	28.8	28.9	27.1	22.7	18.2
Sueca	21.7	15.3	15.3	16.4	18.2	20.0	22.8	26.2	28.8	29.0	27.1	22.9	18.3
Cullera (Sant Llorenç)	21.5	15.3	14.8	16.1	18.3	19.8	22.3	25.7	28.9	29.1	27.0	22.6	17.8

Tabla 2.4: Temperaturas medias, medias mínimas y medias máximas en las playas a lo largo del Golfo de Valencia. Datos mensuales y anuales. (Pérez, 1994)

Temperaturas medias (°C)					
	Media anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Borriana	15.9	9.9	13.8	22.4	17.5
Sagunt (El Pontatge)	15.8	10.1	13.8	22.2	17.2
Sueca	17.9	12.0	16.0	24.3	19.1
Cullera (Sant Llorenç)	16.2	10.3	14.3	22.8	17.4
Temperaturas medias mínimas (°C)					
	Media anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Borriana	10.5	4.3	8.0	17.3	12.6
Sagunt (El Pontatge)	10.1	4.4	7.5	16.7	11.8
Sueca	14.0	8.3	11.8	20.6	15.4
Cullera (Sant Llorenç)	11.0	5.2	8.4	17.7	12.4
Temperaturas medias máximas (°C)					
	Media anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Borriana	21.3	15.5	19.7	27.6	22.4
Sagunt (El Pontatge)	21.5	15.6	20.0	27.8	22.7
Sueca	21.7	15.7	20.3	28.0	22.8
Cullera (Sant Llorenç)	21.5	15.4	20.1	27.9	22.5

Tabla 2.5: Temperaturas medias, medias mínimas y medias máximas en las playas a lo largo del Golfo de Valencia. Datos estacionales. (Pérez, 1994)

- La temperatura máxima es superior a la mínima y cuando la temperatura máxima es igual a la mínima (temperaturas constantes) se genera el límite diagonal inferior del espacio de trabajo.
- La diferencia térmica $T_{\max} - T_{\min}$ no es superior a 15°C .
- La temperatura mínima media en primavera y otoño se sitúa cerca de los 10°C y en el resto del año se superan los 25°C .
- Incluso en un periodo estival anormalmente cálido (e.g., estío del año 2003) la temperatura media en las zonas estudiadas no suele superar los 25°C . Los valores históricos del Instituto Nacional de Meteorología del año 1971 al 2000 muestran valores de temperatura media entre los meses de Mayo a Octubre con una variación desde los 18°C a los 25°C en las zonas estudiadas¹.
- Las temperaturas máximas más frecuentes son $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$, aunque no es raro alcanzar los 30°C . La temperatura máxima diurna suele superar los 30°C . No así, la temperatura media durante las horas de luz solar, que es la que se está considerando como referencia.
- La temperatura media anual es igual o superior a 15°C , tanto si se considera la temperatura media anual, y también si se considera estacionalmente, salvo durante el invierno que es ligeramente inferior.

Con los criterios anteriores se obtiene la región de trabajo definida por la línea roja de la figura 2.19 y su interior. Esta región, teniendo en cuenta la limitación en cuanto a la cantidad de semillas y equipos disponibles se ha cubierto con los experimentos indicados por los puntos azules. Además se han considerado tres puntos fuera de la región de trabajo, en zonas limítrofes correspondientes a condiciones más extremas, que aparecen como los valores absolutos en periodos y condiciones concretas de la época de germinación, y que marcan la variación térmica extrema en este ecosistema. Debe tenerse en cuenta que las condiciones óptimas de germinación en laboratorio no tienen porque necesariamente coincidir con las condiciones del medio natural de la especie, si bien es esperable que no exista una diferencia excesiva.

Es importante notar que la selección de condiciones experimentales realizada incluye tanto condiciones de temperatura alternante, como condiciones de temperatura constante.

¹ El valor de temperatura media se obtiene en esta fuente como la media aritmética entre la temperatura media mínima y la máxima, el cual puede no coincidir exactamente con la temperatura media real, entendida como una medida de la energía calorífica recibida. Así, por ejemplo, no parece razonable decir que una muestra está sometida a una temperatura media de 20°C cuando durante 23 horas está sometida a 10°C y durante 1 hora a 30°C . Una media más adecuada sería la media ponderada en función del tiempo.

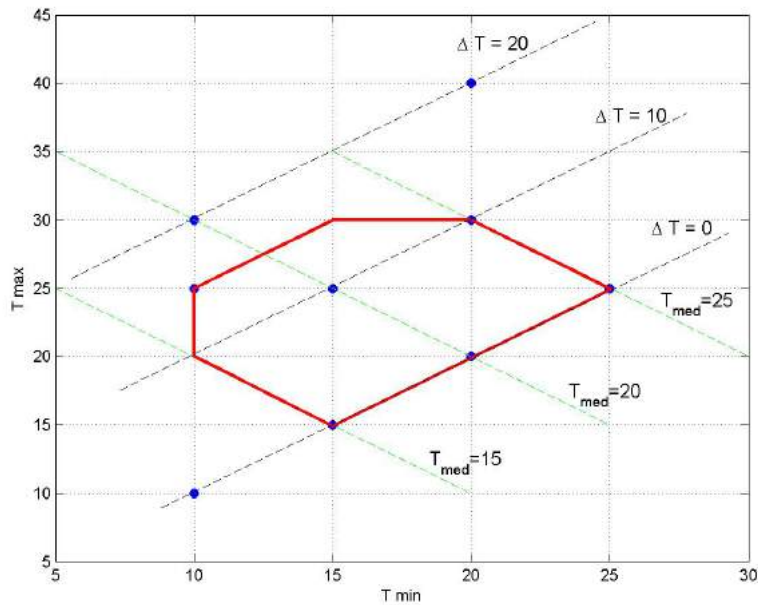


Fig. 2.19: Rango de temperaturas. Región de trabajo y puntos seleccionados.

2.3.4. Selección del barrido de concentraciones salinas

Se han utilizado cinco concentraciones salinas y un control, que abarcan el rango desde 0.0 mM (control) hasta 500 mM, tomadas de 100 en 100 (mM). Para ello se ha disuelto ClNa puro en agua destilada en las proporciones adecuadas. La máxima concentración utilizada (500 mM) ha de entenderse como el equivalente a la concentración de sales en agua de mar de la costa valenciana (Hopkins, 1989). Las masas de agua de mar desde Vinaroz (Castellón) hasta el Cabo de San Antonio (Alicante) pertenecen al grupo A-II, es decir, que presentan una concentración salina entre 34.5 y 37.5 g/l.

2.4. Determinación de índices de evaluación

2.4.1. Introducción

La investigación sobre semillas suele requerir tests de germinación para comparar la respuesta germinativa ante distintas condiciones, en particular de iluminación y regímenes de temperatura, potencial hídrico, exposición a compuestos químicos presentes en el suelo (cloruro sódico, cloruro potásico, sulfato, ...)(Khan & Ungar, 1997; Densmore, 1997; Gozlan & Gutterman, 1999; Pujol *et al.*, 2000; Tobe *et al.*,

2000; Khan *et al.*, 2000; Gulzar & Khan, 2001; Navarro & Guitian, 2003; Jusaitis *et al.*, 2004; Carter & Ungar, 2004; Zia & Khan, 2004).

En el proceso de germinación pueden distinguirse claramente tres fases temporales diferenciadas, (García-Breijo *et al.*, 2006), con se muestran en la figura 2.20:

Hidratación: la absorción de agua es el primer paso de la germinación, sin el cual es proceso no puede darse. Durante esta fase se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman parte de la semilla. Dicho incremento va asociado a un aumento proporcional en la actividad respiratoria. En las semillas vivas se activa el metabolismo debido a la hidratación.

Germinación: se producen las transformaciones metabólicas, necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. En esta fase la absorción de agua se reduce considerablemente, llegando incluso a detenerse.

Fase de crecimiento: es la última fase de la germinación y se asocia con la emergencia de la radícula, el cambio morfológico visible. Esta fase se caracteriza porque la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria. Esta fase ocurre solo en las semillas vivas y se asocia a una fuerte actividad metabólica que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y la movilización de las reservas, en este momento la temperatura tiene un efecto estimulante, al igual que en la fase anterior.

Las tres fases se pueden ver afectadas por las condiciones del medio (nivel de humedad, el sustrato, temperatura, etc.). Además, la duración de cada una de las fases también depende de las propiedades de las semillas, como son su contenido en compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y al oxígeno. Las dos primeras fases son reversibles, pero una vez la semilla entra en la tercera, o bien origina una plántula o bien muere.

La evaluación de las condiciones de germinación se realiza teniendo en cuenta tanto el porcentaje de semillas germinadas como la velocidad de germinación. El uso de un índice que proporcione una medida de la velocidad de germinación ha sido justificado desde hace tiempo (Bazzaz, 1996; Noe & Zedler, 2000). Puede ser justificado por:

- Consideraciones de viabilidad de la planta a medio plazo. Una mayor rapidez de germinación implica una menor exposición de la semilla a agentes patógenos, y una ventaja competitiva potencial frente a otras especies.

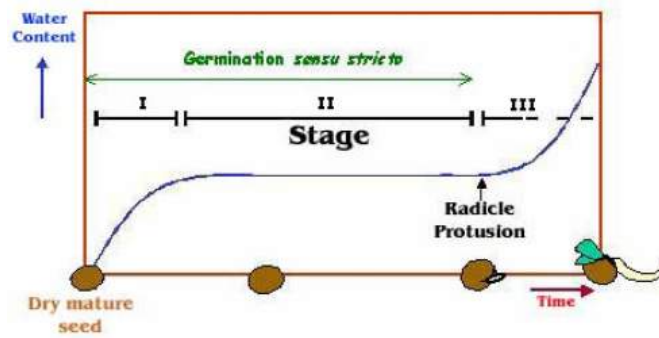


Fig. 2.20: Fases de germinación. (tomado de <http://seed.proteome.free.fr/ara.htm>)

- Consideraciones económicas. Una mayor velocidad de germinación permite ciclos de trabajo más cortos a la hora de producir planta para regenerar un territorio, incrementando la eficiencia del proceso productivo.

El tiempo que tarda una semilla en germinar desde que se la somete a unas condiciones dadas (T_g), su velocidad de germinación, es una variable aleatoria con una función de distribución de probabilidad del mismo tipo que la función *Gamma*. En efecto, la gráfica de la velocidad de germinación en función del tiempo posee un cierto alargamiento hacia la derecha (véase la figura 2.21 (der.)). Esto es intuitivamente claro. El tiempo que tarda una semilla en germinar está limitado por debajo de cero (i.e. no puede ser negativo) mientras que por la derecha podría ser bastante alto, por ejemplo, en el caso que haya un periodo de latencia largo. Tal como se muestra en la gráfica 2.21 (izq.), la función de distribución acumulada resultante, que proporciona la probabilidad de que una semilla haya germinado en el periodo de tiempo desde $t = 0$ hasta $t = t'$, tiene la típica forma de *sigmoide* observada en los resultados experimentales cuando se representa el número acumulado de semillas germinadas respecto al tiempo en un determinado test (véase la figura 2.22 para dos especies).

La estimación de los parámetros de la función de densidad de probabilidad de tipo *Gamma* a partir de datos experimentales es factible. Sin embargo los valores de los mismos no dan una idea intuitiva rápida de velocidades de germinación diferentes. En cambio, trabajando con la función de distribución acumulada si pueden definirse índices de velocidad de germinación fáciles de determinar y que proporcionen la capacidad de discriminación entre velocidades de germinación.

En la tesis se han analizado y comparado distintos índices usados en la literatura. Para evaluar la velocidad de germinación. En concreto, el índice de Noe & Zedler, 2000, (I_N), el índice usado en Alsadon *et al* 1995 (I_A), el índice modificado de Timson

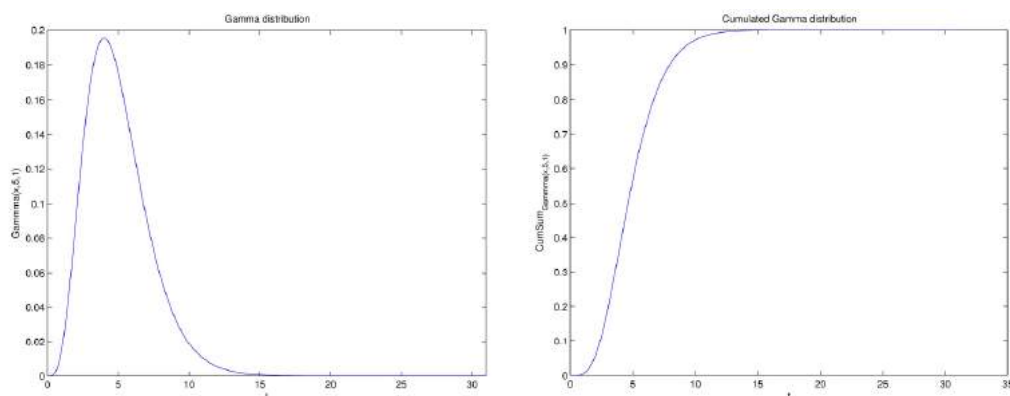


Fig. 2.21: (der.) Función de distribución de probabilidad *Gamma*. (izq.) Función de probabilidad acumulada.

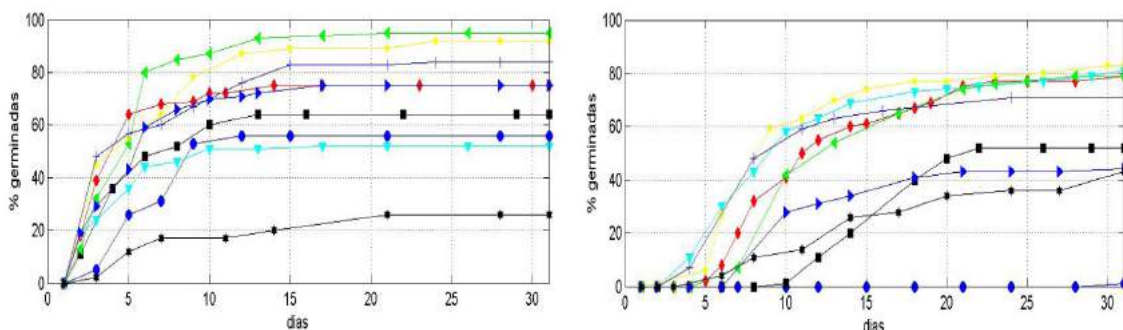


Fig. 2.22: Curvas experimentales de germinación acumulada ante distintas condiciones de temperatura. (der.) *Cakile maritima*. (izq.) *Teucrium dunense*.

Khan & Ungar 1984 (I_T), basado en el tiempo medio de germinación y el índice clásico basado en el tiempo transcurrido hasta alcanzar el 50% de germinación, Thanos & Georgiou 1988 (T_{50}).

Por otro lado, se proponen dos nuevos índices de cálculo simple para la velocidad de germinación: (I_1 y I_2), que presentan una mayor capacidad de discriminación entre distintas curvas de germinación. También se propone un índice de optimalidad, (I_D), que pondera el porcentaje y la velocidad de germinación. Estos índices son también comparados con los anteriores.

2.4.2. Índices de evaluación de la velocidad de germinación

En la literatura ya existen, como ha sido comentado anteriormente, una serie de índices de velocidad de germinación basados en la curva de germinación acumulada. Para un experimento dado, se considerarán las siguientes variables y parámetros:

- l_m : tamaño de la muestra. Esto es, número de semillas en la misma.

<i>Índices estudiados</i>	
Abreviatura	Autores que los proponen
T_{50}	Thanos & Georghiou. 1988.
I_A (TMG)	Alsadon <i>et al.</i> . 1995.
I_T	Khan & Ungar. 1984.
I_N	Noe & Zedler. 2000.
I_1	esta tesis
I_2	esta tesis
I_D	esta tesis

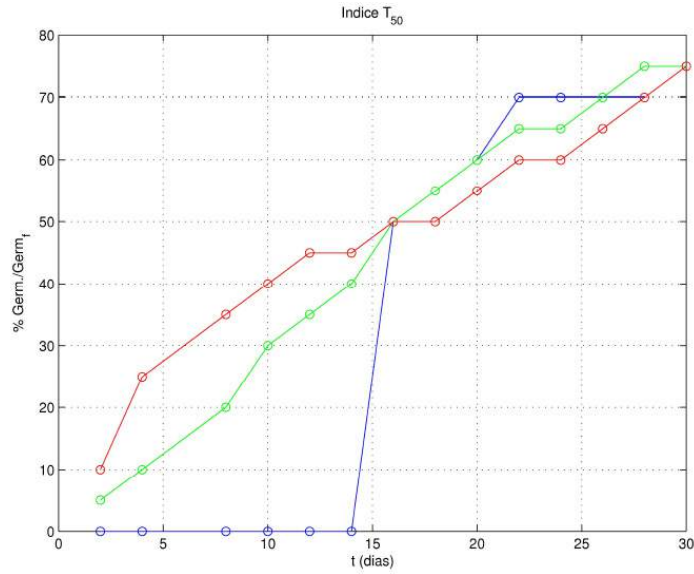
Tabla 2.6: Abreviaturas utilizadas para los índices estudiados y propuestos.

- t_f : duración del experimento. En la tesis se ha utilizado, en general, $t_f = 30$ días.
- g_f : número de semillas en la muestra germinadas al final del experimento (en t_f).
- n_m : número de puntos en el experimento. Es decir, número de veces que se ha realizado el conteo de las semillas germinadas.
- $g(k)$: número acumulado de semillas germinadas en el conteo k -ésimo.
- $t(k)$: tiempo transcurrido desde el inicio del experimento hasta el conteo k -ésimo. En general, se trata del número de días transcurridos desde que se inició el experimento.

Descripción de los índices más utilizados en la bibliografía:

- T_{50} : algunos autores utilizan como índice de velocidad el tiempo T_{50} transcurrido hasta que germinan el 50 % del total de semillas (Thanos & Georghiou, 1988; Skordilis & Thanos, 1995; Doussi & Thanos, 2002; Tobe *et al.*, 2000; Navarro & Guitian, 2002). La normalización respecto del número final de semillas germinadas es necesaria para que el índice sea aplicable en casos donde la viabilidad de las semillas es menor del 50 %. Es un índice simple. Sin embargo presenta el problema de no ser suficientemente discriminativo. Es decir, existe una gran variedad de posibles perfiles de germinación que poseen el mismo valor de T_{50} . Como muestra, en la figura 2.23 se pueden ver diversos perfiles de germinación muy diferentes pero con el mismo valor de T_{50} .
- I_A o también llamado TMG: en (Alsadon *et al.*, 1995), (I_A), se define el Tiempo Medio de Germinación como:

$$I_A = \frac{1}{g_f} \sum_k t(k) (g(k) - g(k-1)) \quad (2.1)$$

Fig. 2.23: Índice de velocidad T_{50} . Problemas de discriminación

Se trata de un índice muy relacionado con el índice T_{50} . Geométricamente consiste en el área entre la curva de germinación y el valor final de semillas germinadas (g_f), normalizada por este último.

- I_T : en (Khan *et al.*, 2000; Khan & Ungar, 1984, 1997; Katembe *et al.*, 1998; Pujol *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2000; Gulzar & Khan, 2001) se utiliza una modificación del índice de Timson (Timson, 1965), (I_T) :

$$I_T = \frac{\sum_{k \text{ par}} g(k)}{t_f} \quad (2.2)$$

donde la suma se realiza sobre el porcentaje de semillas germinadas a intervalos de 2 días.

Al igual que con el índice T_{50} , el índice de Timson modificado (I_T) presenta una serie de problemas importantes. Así:

- perfiles de germinación muy diferentes pueden dar el mismo valor de I_T .
- al no tratarse de un índice normalizado no es fácil comparar resultados correspondientes a distintas especies o incluso la misma especie bajo condiciones experimentales distintas.

En la figura 2.24 se muestran diversos perfiles de germinación muy diferentes pero con el mismo valor $I_T = 26$.

- I_N : la relación entre el valor medio de germinación y su valor final se propone como índice en (Noe & Zedler, 2000; Debez *et al.*, 2004), (I_N):

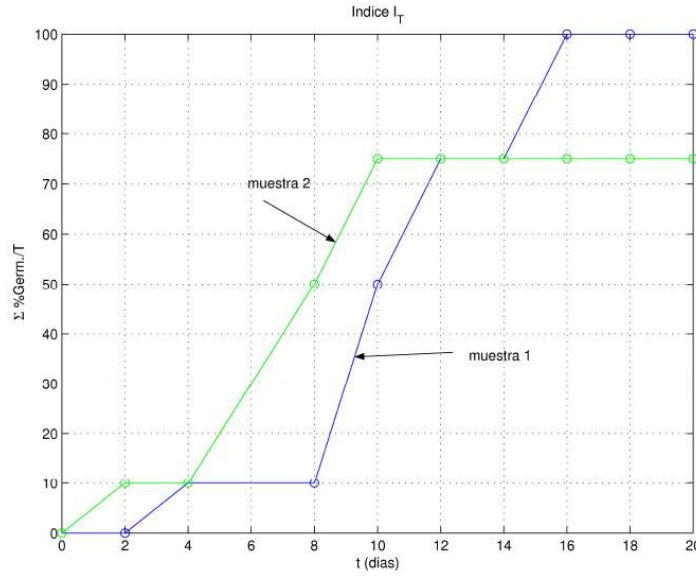


Fig. 2.24: Índice de velocidad de Timson modificado (I_T). Problemas de discriminación

$$I_N = \frac{1}{g_f} \sum_k \frac{g(k)}{n_m} \tag{2.3}$$

Se asume muestreo uniforme. En esencia, este índice se basa en el hecho de que una mayor área bajo la curva de germinación acumulada corresponde con una mayor velocidad de germinación. El índice I_N proporciona la misma información que el índice propuesto a continuación. Se pretende conseguir una mayor capacidad de discriminación, así como una mayor facilidad de interpretación y comparación entre especies. La idea básica sigue siendo la de calcular el área bajo la curva de germinación acumulada respecto al tiempo. Así, se considerará el índice:

$$I_1 = \frac{100}{g_f t_f} \sum_k \left[(t(k) - t(k - 1)) \frac{g(k) + g(k - 1)}{2} \right] \tag{2.4}$$

El índice I_1 introduce:

1. Normalización respecto al porcentaje final de semillas germinadas durante el experimento, y respecto a su duración temporal. Estas normalizaciones aportan homogeneidad al índice, pues este queda definido como un valor entre 0 y 100 para cualquier especie y cualquier condición experimental, permitiendo comparaciones consistentes. Así, un valor de 100 correspondería a la situación en que todas las semillas del test que germinan lo hacen el primer día (máxima velocidad de germinación) y un valor de cero al caso en que en el periodo de tiempo considerado no germina ninguna semilla.

2. Relajación de la necesidad de muestras periódicas equiespaciadas y utilización de una aproximación trapezoidal para el cálculo del área bajo la curva. Permitir muestras no equiespaciadas aporta mayor comodidad a la hora de realizar el trabajo experimental. Obviamente, a mayor frecuencia de muestras, especialmente durante la fase de crecimiento, mayor precisión en los resultados. La utilización de una aproximación trapezoidal, frente a la más sencilla rectangular, implica un mínimo incremento de complejidad en la expresión del índice y, a cambio, aporta un cálculo más preciso del mismo.

Puede verse fácilmente que los índices I_A e I_1 son complementarios si se consideran ligeras modificaciones en I_A . En concreto, si se normaliza el índice I_A con respecto a la duración del experimento, y se usa una aproximación trapezoidal con respecto al índice temporal, entonces:

$$I_1 = 100 - I_A$$

El índice I_1 admite una versión simplificada si no se utiliza aproximación trapezoidal, a costa de perder algo de precisión. La expresión correspondiente a la versión simplificada es:

$$I_{1s} = \frac{100}{g_f t_f} \sum_k [(t(k) - t(k-1)) g(k)] \quad (2.5)$$

Todos los índices descritos hasta el momento sufren más o menos acusadamente de una falta de capacidad de discriminación. Esto es, curvas de germinación muy diferentes pueden proporcionar un valor semejante del índice de velocidad de germinación. Esto es particularmente cierto si los índices no son normalizados. Sin embargo, incluso en el caso de los índices normalizados, el problema persiste.

Así, dos respuestas de germinación acumulada con la misma área bajo sus correspondientes gráficas, o con el mismo tiempo medio de germinación, pueden ser distintas porque la respuesta en una presenta un cambio germinativo más brusco (gráfica de germinación con mayor pendiente) que la otra. Es decir, una puede ser aproximada considerando un periodo de latencia seguido de una fase de germinación rápida, mientras que la otra puede ser aproximada mejor como una función sigmoide suave. Desde un punto de vista biológico está claro que ambas posibilidades deben ser distinguidas claramente. Esto puede hacerse mediante el uso de un índice de velocidad de germinación que pondere el instante temporal en el que se toma cada una de las muestras experimentales. El índice I_2 propuesto a continuación se basa

en esta idea. Matemáticamente, está calculando una versión normalizada del primer momento (centro de área) de la gráfica de germinación acumulada respecto al eje de ordenadas. Proporciona mayores valores para curvas de germinación con pendientes más pronunciadas a igual valor del tiempo medio de germinación. Se expresa como:

$$I_2 = \frac{200}{t_f} \frac{\sum_k (t(k) - t(k-1)) (g(k) + g(k-1)) \left(t_f - \frac{t(k)+t(k-1)}{2} \right)}{\sum_k (t(k) - t(k-1)) (g(k) + g(k-1))} \quad (2.6)$$

Una versión simplificada, donde no se considera aproximación trapezoidal del área entre dos muestras, es:

$$I_{2s} = \frac{200}{t_f} \frac{\sum_k (t(k) - t(k-1)) g(k) (t_f - t(k))}{\sum_k (t(k) - t(k-1)) g(k)} \quad (2.7)$$

Para el ejemplo de la gráfica 2.24 el nuevo índice proporciona los valores $I_2 = 48$ y $I_2 = 67$ para las muestras 1 y 2 respectivamente. Claramente se mejora tanto la capacidad de discriminación respecto al índice de Timson modificado (que proporcionaba un valor común de 26), como la claridad respecto al significado del valor obtenido. En este ejemplo estaríamos hablando de semillas con una velocidad de germinación intermedia.

Para diferentes muestras de una misma especie a una condición dada el índice I_2 dará en general distintos valores, dada la variabilidad natural de las muestras. La distribución de estos valores si se espera que siga una distribución normal, con una determinada media y varianza, tal como efectivamente se verá en los resultados de los capítulos posteriores.

2.4.3. Comparativa entre los índices de evaluación considerados

Vistos los índices anteriores, tanto los presentes en la literatura revisada como los dos propuestos (I_1 , I_2) es importante saber hasta que punto son comparables. Es decir, considerando los índices anteriores, evaluados para una semilla concreta y ante unas condiciones ambientales específicas, es importante poder determinar hasta que punto proporcionan una ordenación de las condiciones de germinación, en términos de velocidades de germinación, comparables. Esto tiene utilidad, fundamentalmente, a la hora de comparar resultados de la literatura evaluados mediante índices distintos (obviamente, dentro del grupo de los comparados).

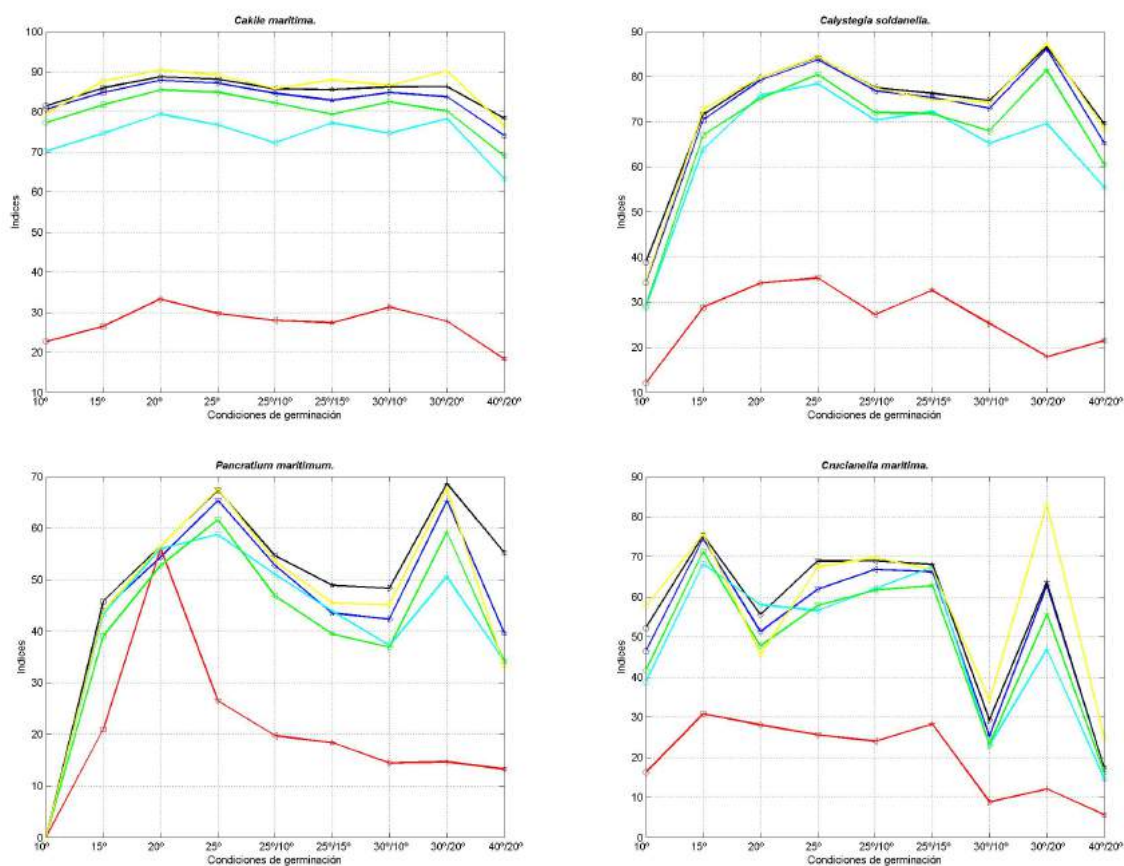


Fig. 2.25: Conjunto de índices de velocidad de germinación I_N (cian), I_A (verde), I_T (rojo), T_{50} (amarillo), I_1 (azul) e I_2 (negro) aplicados sobre distintas especies.

Para este fin, se realizó un análisis de los resultados proporcionados por los seis índices descritos en la sección anterior. Para ello, se aplicaron los mismos sobre los resultados de germinación de las 15 especies utilizadas en la tesis, a las 9 condiciones experimentales correspondientes. En cada caso se evaluaron 4 muestras (cada una con 25 semillas). Es decir, la comparación está realizada sobre la evaluación de cada índice sobre un total de $4 \times 9 \times 15 = 540$ instancias, número suficiente para asegurar resultados estadísticamente fiables.

Como muestra, la figura 2.25 refleja los resultados obtenidos al aplicar el conjunto de índices $\{I_N, I_A, I_T, T_{50}, I_1, I_2\}$ sobre algunas de las especies estudiadas en la tesis. A efectos de poder realizar la comparación, todos los índices fueron normalizados.

Es muy importante resaltar que el objetivo de la comparación a realizar en esta sección no es comparar el valor particular que proporciona cada uno de los índices con el proporcionado por los demás, sino comparar la ordenación (en términos de velocidad de germinación) de condiciones de germinación que proporcionan.

Supongamos que dos índices dados proporcionan, para una especie dada, una ordenación de las condiciones de germinación, de mejor (mayor valor del índice) a peor (menor valor del índice). Es decir, tenemos dos listas de ordenación de condiciones de germinación, para una especie dada, cada una proporcionada por uno de los dos índices. Una forma de comparar la diferencia entre ambos resultados es contar cuantos cambios de orden habría que hacer en uno de ellos para que coincida con el otro. Es decir, cuantas permutaciones se requieren para pasar de una ordenación a la otra. Matemáticamente, esto corresponde con la denominada distancia de Hamming entre los vectores que representan cada ordenación.

Este cálculo se ha realizado para todos los casos mencionados anteriormente. Posteriormente, se ha aplicado un algoritmo de agrupación de datos (*clustering*) de tipo k-medias con uso de distancia euclídea para detectar grupos de índices que proporcionan resultados semejantes. La figura 2.26 muestra un dendrograma con los *clusters* encontrados y sus relaciones de semejanza. En el mismo, se observa que, como era esperable, los índices I_1 e I_A son muy semejantes, de hecho, como ya se ha indicado anteriormente, son equivalentes bajo normalización y ciertas asunciones suaves. El índice I_2 proporciona resultados bastante cercanos a los dos anteriores². En el otro extremo, los índices I_T e I_N proporcionan resultados semejantes entre ellos, formando su propio cluster. Finalmente, el índice T_{50} proporciona resultados en cierto modo intermedios.

2.5. Optimalidad multiobjetivo. Cálculo del Índice de Optimalidad, I_D

Uno de los objetivos de la tesis consiste en determinar las condiciones ideales de germinación, es decir, aquellas que maximizan tanto el porcentaje como la velocidad de germinación. Se trata, por tanto, de un problema de optimización multi-objetivo, en el que se desea optimizar dos objetivos. En general, en este tipo de problemas se debe llegar a algún tipo de solución de compromiso. Para ello se pueden seguir dos caminos alternativos, ambos con buenos resultados y, en cierto modo, complementarios.

Por un lado, se puede considerar *a priori* una ponderación entre los factores que se desean optimizar. En nuestro caso, se considera que dos puntos con la misma distancia al punto (100, 100) (correspondiente a máximo porcentaje y máxima

² Hay que recordar que en este análisis se están comparando los resultados proporcionados entre los distintos índices en términos de cercanía entre ellos, no en términos de *calidad* (capacidad de discriminar y clasificar correctamente entre curvas de germinación). En este último sentido, el índice I_2 proporciona los mejores resultados.

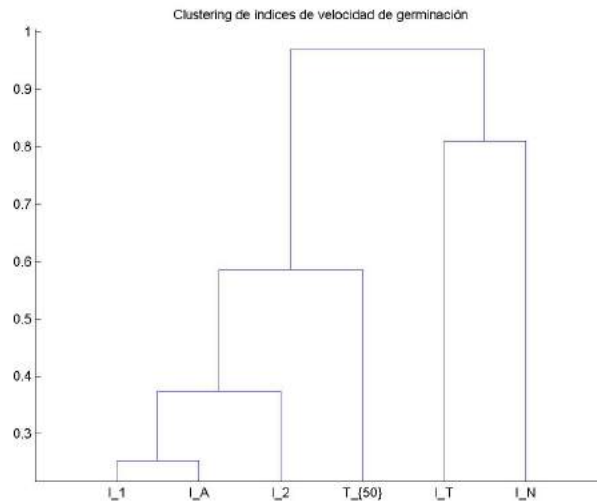


Fig. 2.26: *Clustering* de los índices $I_1, I_2, I_A, I_T, I_N, T_{50}$ aplicados sobre 4 muestras de 16 especies y 9 condiciones de germinación.

velocidad de germinación posibles teóricamente) son *a priori* igualmente buenos. Implícitamente, en esta definición de que son condiciones de germinación igualmente buenas, se está considerando que ambos objetivos, porcentaje y velocidad de germinación, son igualmente importantes. En este caso, las curvas de nivel iso-óptimas consisten en círculos centrados en el punto $(100, 100)$. La figura 2.27 muestra, como ejemplo, los resultados obtenidos en un caso concreto. Las condiciones óptimas de germinación serían las correspondientes a $\{25/10^\circ C, 25/15^\circ C\}$ (muy próximas entre ellas, y las más cercanas al punto $(100, 100)$), seguido sucesivamente de $30/20^\circ C$, $\{30/10^\circ C, 20^\circ C\}$, y el resto. El índice ponderado de optimalidad respecto a porcentaje y velocidad de germinación será uno de los dos utilizados en la tesis, y será denotado como I_D . Evidentemente, este tipo de índice puede modificarse adecuadamente en caso de querer ponderaciones distintas para los dos factores en juego.

En muchas ocasiones no se tiene, o no se tiene clara *a priori*, esta ponderación. Simplemente, se desea optimizar todos los objetivos. Si hay que llegar a algún tipo de solución de compromiso, se desearía hacerlo una vez vistas todas las soluciones alternativas. Es decir *a posteriori*. Un marco natural para tratar con este tipo de problemas de optimización, en que pueden existir múltiples soluciones *a priori* igualmente válidas, y de las cuales se tomará una en particular, una vez vistas todas y teniendo en cuenta consideraciones *a posteriori*, es el caso de los conjuntos de soluciones Pareto-óptimos (Deb, 2001).

Los métodos Pareto-óptimos no se basan en encontrar una solución óptima para una ponderación de los objetivos a optimizar. Utilizan una denominada *clasificación no dominada* de las soluciones. Básicamente, proporcionan conjuntos de soluciones entre las cuales no se puede decir *a priori* que unas sean mejores que otras. A estos conjuntos se les denomina frentes Pareto-óptimos. Si que existe una ordenación entre frentes Pareto-óptimos. Es decir, dados n frentes $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$, si existe una ordenación, de forma que las soluciones que pertenecen al frente F_1 son mejores que las que pertenecen al frente F_2 , y así sucesivamente. Al mejor frente, formado por el conjunto de las mejores soluciones, se le denomina *conjunto Pareto-óptimo*. La elección de una u otra solución de entre las mejores responderá a criterios adicionales *a posteriori*. Por ejemplo, a consideraciones sobre equipamiento disponible, coste, etc. Resumiendo, a cada uno de los conjuntos de soluciones se le llama frente y al mejor frente se le llama *conjunto Pareto-óptimo*.

La figura 2.27 muestra los frentes Pareto-óptimos obtenidos en un caso particular (semillas de *Cakile maritima*). Se muestran simultáneamente los frentes Pareto-óptimos (líneas separadoras en rojo) y las curvas iso-óptimas correspondientes al índice I_D (líneas en azul). Las condiciones correspondientes al frente Pareto-óptimo son $\{25/10^\circ C, 30/20^\circ C, 20^\circ C\}$, seguido de $\{25/15^\circ C, 30/10^\circ C\}$ (muy próximo al anterior), y el resto de frentes. Obsérvese, que desde el punto de vista utilizado en el cálculo de frentes Pareto-óptimos, no se puede decir que ninguna de las condiciones de germinación dentro del conjunto $\{25/10^\circ C, 30/20^\circ C, 20^\circ C\}$ sea mejor que las otras. Por ejemplo, la condición $25/10^\circ C$ tiene mayor porcentaje de germinación que la condición $20^\circ C$, pero esta última tiene mejor velocidad de germinación. Como, *a priori*, no se establece ninguna preferencia por cualquiera de los dos objetivos, ambas condiciones de germinación son equivalentes. Sin embargo, la condición $30/10^\circ C$ pertenece a un frente “menos óptimo” (el segundo), ya que en el primer frente existe alguna condición (no necesariamente todas) que iguala o mejora a $30/10^\circ C$ tanto en porcentaje como en velocidad de germinación (en ambos). Por ejemplo, $30/20^\circ C$.

Existen algoritmos eficientes para obtener la clasificación de soluciones por frentes Pareto-óptimos (Deb, 2001). Se trata de algoritmos eficientes, fáciles de implementar. En los capítulos de resultados se ha optado por la representación del I_D de los grupos de condiciones que constituyen cada frente en un diagrama por colores.

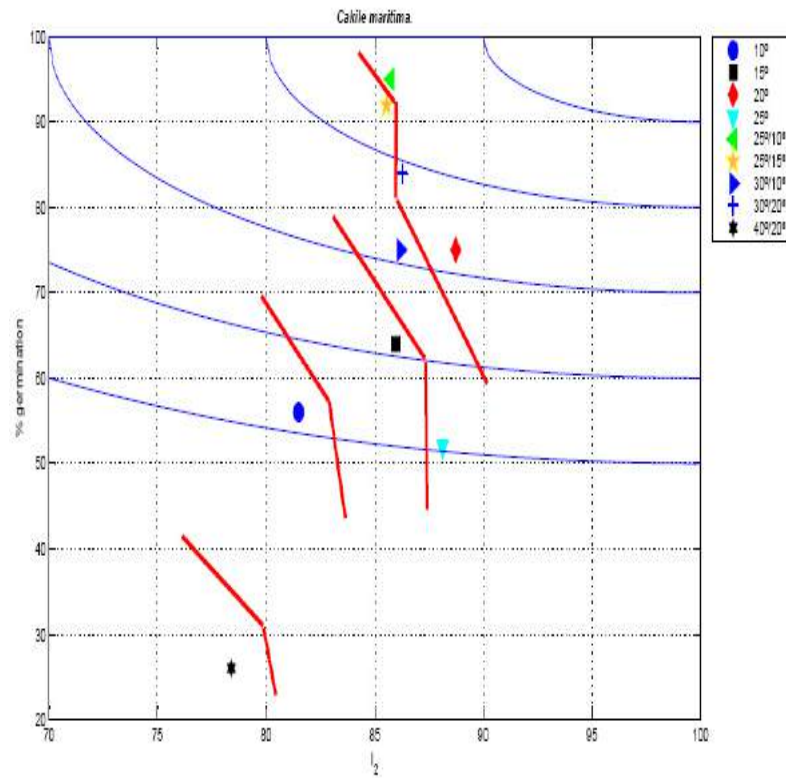


Fig. 2.27: Curvas de nivel (frentes) iso-óptimas para *Cakile maritima*. En azul, índice I_D correspondiente a la ecuación de la distancia al punto máximo. Las condiciones óptimas de germinación serían las correspondientes a $\{25/10^\circ C, 25/15^\circ C\}$ (muy próximas entre ellas), seguido sucesivamente de $30/20^\circ C$, $\{30/10^\circ C, 20^\circ C\}$, y el resto. En rojo, frentes Pareto-óptimos. Las condiciones correspondientes al conjunto Pareto-óptimo son $\{25/10^\circ C, 30/20^\circ C, 20^\circ C\}$, seguido de $\{25/15^\circ C, 30/10^\circ C\}$ (muy próximo al anterior), y el resto de frentes.

2.6. Análisis estadístico

A lo largo de la tesis se calcula el porcentaje y velocidad de germinación medios y desviación típica para todas las especies y condiciones de germinación evaluadas. Como ya se ha indicado anteriormente, en todos los casos se disponía de cuatro muestras de 25 semillas cada una.

Además de la media, el otro estadístico que se evalúa es la varianza. La evaluación de esta última sólo tiene sentido si las muestras experimentales responden a una distribución normal. El test de Lilliefors, implementado en el *Statistics toolbox* del software MATLABTM, permite evaluar la hipótesis de que la muestra experimental sobre la que se calcula media y varianza viene de una distribución normal. El test devuelve el valor 0 si la hipótesis es aceptada, y el valor 1 en caso contrario.

Para decidir si dos valores de medias de una determinada variable (p.e. porcentajes medios de germinación a distintas condiciones) son significativamente diferentes se ha utilizado el análisis de varianzas de una vía (ANOVA). En el caso de comparaciones múltiples basadas en ANOVA, se ha utilizado la función `multcompare` del software Matlab[®] (The Mathworks Inc.). Por defecto se ha utilizado un nivel de confianza del 95 % en todos los análisis.

2.7. Comparación entre conjuntos

En la tesis surge la necesidad de comparar conjuntos de datos sobre el espacio de temperaturas. Por ejemplo, en la figura 2.28 se muestra el conjunto de temperaturas experimentales óptimas (en el sentido que se describirá con detalle en capítulos posteriores) para dos especies concretas: *Pancratium maritimum* y *Calystegia soldanella*. En la parte derecha de la figura se muestra la superposición de ambos conjuntos, observándose que coinciden parcialmente. Una pregunta que tiene relevancia es la siguiente ¿Cómo pueden compararse estos conjuntos? ¿Cómo puede decirse si son distintos a similares? La respuesta a estas preguntas se puede obtener mediante el uso de medidas de distancia entre conjuntos. Así, dos conjuntos idénticos de puntos (que coinciden si se superponen) estarán a distancia cero entre ellos. Los dos conjuntos de la figura, no son idénticos, y estarán a una distancia no nula entre ellos. Esta distancia deberá ser mayor o menor según el grado de similitud entre los conjuntos. Históricamente se han utilizado distintas formas de medir distancias entre conjuntos, más o menos basadas en la distancia de Hausdorff (Huttenlocher *et al.*, 1993). Estas distancias son muy utilizadas en algoritmos dedicados a reconocer similitudes entre patrones. A continuación se describe la medida de distancia utilizada en el capítulo 5 de la tesis para comparar conjuntos de datos.

Sean dos conjuntos de puntos $\mathcal{C}_1 = \{P_{1,1}, \dots, P_{1,m}\}$ con m puntos, y $\mathcal{C}_2 = \{P_{2,1}, \dots, P_{2,n}\}$ con n puntos. Se define la distancia entre ambos conjuntos mediante la expresión:

$$d(\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2) = \text{máx} \{d_{12}, d_{21}\} \quad (2.8)$$

siendo:

$$d_{ij} = \text{mean}_p \left\{ \min_q \{ \downarrow(P_{i,p}, P(j, q)) \} \right\} \quad (2.9)$$

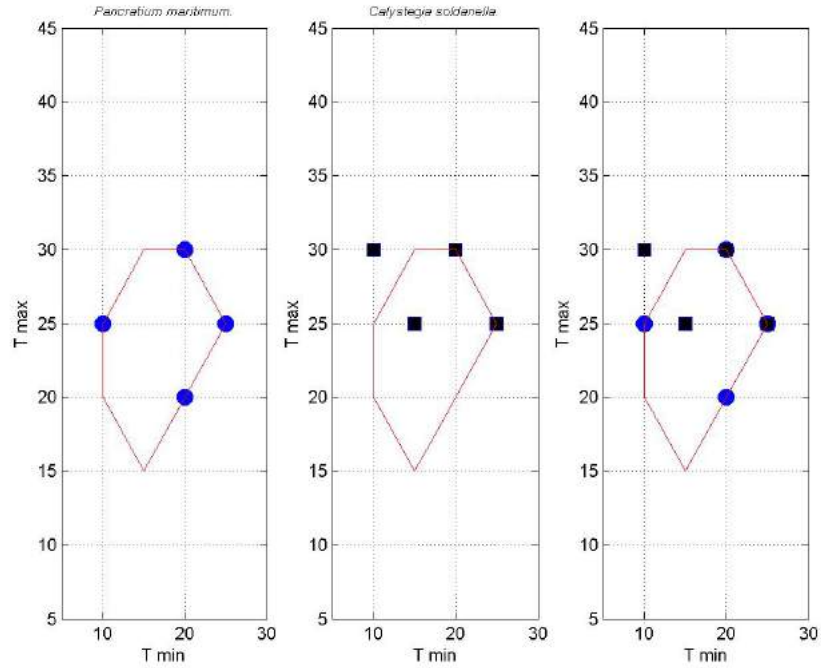


Fig. 2.28: Conjuntos de temperaturas experimentales óptimas. Izquierda: *Pancratium maritimum*. Centro: *Calystegia soldanella*. Derecha: superposición de ambos conjuntos.

con $i, j = \{1, 2\}$, y donde mean es el valor medio y $\downarrow(P_{i,p}, P(j, q))$ es la distancia euclídea entre el punto p del conjunto \mathcal{C}_i y el punto q del conjunto \mathcal{C}_j .

Para entender las expresiones anteriores tomemos el ejemplo de la figura 2.28. Supongamos que el conjunto \mathcal{C}_1 corresponde a *Pancratium maritimum*, y el conjunto \mathcal{C}_2 a *Calystegia soldanella*. La distancia entre ambos conjuntos³ se obtiene siguiendo la siguiente secuencia de operaciones:

1. Para cada una de las cuatro condiciones experimentales correspondientes a *Pancratium maritimum* (conjunto \mathcal{C}_1) se calcula su distancia euclídea a cada una de las condiciones experimentales correspondiente a *Calystegia soldanella* (conjunto \mathcal{C}_2). En el caso del ejemplo, ambos conjuntos constan de cuatro puntos. Por tanto, para cada uno de los cuatro puntos del conjunto \mathcal{C}_1 tendremos las cuatro distancias a cada uno de los cuatro puntos del conjunto \mathcal{C}_2 .
2. Para cada uno de los puntos del conjunto correspondiente a *Pancratium maritimum* se toma el mínimo de las distancias a los puntos correspondientes a *Calystegia soldanella*. Con esto tendremos cuatro valores en el ejemplo plantea-

³ Recuérdese que la distancia nos da una medida de la similitud entre ambos, que es el aspecto relevante para la tesis.

- do, correspondientes a la distancia mínima de cada punto del conjunto de partida a todos los del conjunto de llegada.
3. Se toma el valor medio de los valores anteriores, es decir, el valor medio de las distancias mínimas de cada punto del conjunto \mathcal{C}_1 a todos los puntos del conjunto \mathcal{C}_2 .
 4. Se realiza la misma secuencia de operaciones, pero esta vez tomando *Calystegia soldanella* como primer conjunto y *Pancratium maritimum* como segundo. Con esto, tendremos calculados los valores d_{12} y d_{21} correspondientes a la ecuación (2.9).
 5. Finalmente, siguiendo la ecuación (2.8), la distancia entre ambos conjuntos se obtiene como el máximo entre los dos valores anteriores.

Esta medida de distancia entre conjuntos es la que se utiliza en el capítulo 5 para obtener los dendrogramas de comparación entre los resultados de las distintas especies de una clase.

2.8. Ajustes de datos a modelos

Los modelos son representaciones matemáticas que intentan reproducir los valores de las variables de un determinado sistema, es decir, su comportamiento. Hay dos clases de modelos: los mecanicistas y los basados en datos, también llamados de caja negra.

Los modelos mecanicistas intentan integrar los mecanismos de funcionamiento del sistema que se está modelando. Son modelos basados en primeros principios, los cuales dan lugar a la estructura matemática del modelo. Con los datos experimentales se ajustan los parámetros del modelo pero no su estructura, que viene dada por las leyes fisico-químicas que rigen el funcionamiento del sistema a modelar.

Por contra, los modelos de caja negra (también llamados modelos basados en datos) son ajustes de datos experimentales a ecuaciones simples (rectas de regresión, parábolas, redes neuronales, ...) impuestas por el modelador. No tienen en cuenta el funcionamiento interno del sistema a modelar. La ley matemática a la cual se quieren ajustar los datos experimentales se escoge en base a criterios de simplicidad y calidad del ajuste.

La diferencia de concepción entre las dos clases de modelos hace que sirvan para cosas diferentes y con capacidades también diferentes. Los modelos mecanicistas son explicativos mientras que los de caja negra no. En consecuencia, los modelos

mecanicistas tienen buena capacidad de extrapolar, mientras que los de caja negra son útiles para interpolar, y pueden dar problemas si se intenta con los mismos hacer predicciones en regiones del espacio de variables experimentales lejos de aquellas que fueron utilizadas para el ajuste del modelo.

En la tesis se han utilizado modelos basados en datos. En concreto, se han utilizado ajustes multivariantes mediante redes neuronales, ajustes a rectas de regresión, y modelos de proyección sobre estructuras latentes (en particular, análisis de componentes principales). Estos modelos se describen a continuación.

2.8.1. Aproximación multivariable mediante *redes neuronales artificiales*

La interpolación de resultados para condiciones en las que no se tienen datos experimentales puede realizarse por medio de toda una serie de métodos (Isasi & Galván, 2004). Una herramienta especialmente útil para este fin son las denominadas *redes neuronales artificiales* (Isasi & Galván, 2004; Haykin, 1994). Una *red neuronal* (RN) es una parametrización funcional que permite aproximar funciones multivariantes con un grado de aproximación arbitrario. Las RNs son ampliamente utilizadas en ámbitos donde se requiere aproximar aplicaciones (funciones multivariantes) a partir de datos experimentales, como por ejemplo:

- Modelado e identificación de sistemas.
- Clasificación de patrones.
- Agrupación de datos (*clustering*).
- Control automático
- etc.

En el contexto de la tesis, y como ya ha sido comentado, se dispone de un conjunto de cuatro datos experimentales de temperaturas para cada una de las 15 especies estudiadas en cada una de las 9 condiciones experimentales evaluadas. Tanto para el porcentaje de germinación, como para el índice de velocidad de germinación y el índice ponderado de optimalidad I_D , se plantea el problema de obtener sus valores para un cierto punto (T_{\min}, T_{\max}) del espacio de temperaturas. La situación planteada queda reflejada en la gráfica 2.29, en la que se muestran como ejemplo los datos del índice I_D disponibles para *Calystegia soldanella*.

En el ejemplo mostrado como guía argumental, los datos reflejan la función subyacente

$$I_D = f(T_{\min}, T_{\max}) \tag{2.10}$$

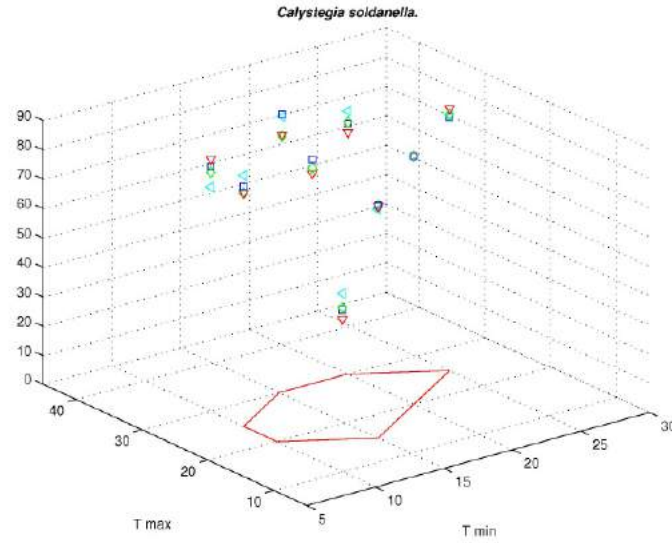


Fig. 2.29: *Calystegia soldanella*. Valores disponibles del índice de optimalidad ponderada I_D .

que relaciona las condiciones de germinación (valores de temperatura mínima y máxima) con el valor obtenido para el índice de optimalidad ponderada I_D . El objetivo que se plantea es obtener, a partir de los datos experimentales, una aproximación a dicha función subyacente.

Las redes neuronales son expansiones funcionales, como la más conocida *expansión en serie de Taylor*, que como caso particular incluye la *recta de regresión*, pero con toda una serie de ventajas sobre los ejemplos recién mencionados.

En la tesis se utiliza un tipo particular de redes neuronales, las denominadas *redes neuronales con funciones de base radiales* (redes RBF). Las redes RBF permiten aproximar una función desconocida $f(\mathbf{x})$ a partir del conocimiento del valor $y(\mathbf{x}_k)$ que la función toma en N puntos experimentales \mathbf{x}_k , $k = 1, \dots, N$. Para ello, aproxima el valor de la función en dichos puntos mediante la expresión:

$$\hat{y}(\mathbf{x}_k) = \sum_{i=0}^n \theta_i \gamma_i(\mathbf{x}_k) \quad (2.11)$$

donde $\gamma_i(\mathbf{x}_k)$ son n funciones, denominadas funciones base, cuya combinación permite realizar la aproximación funcional (las análogas a los polinomios $1, x, x^2, \dots$ en las series de Taylor), θ_i es un conjunto de n parámetros ajustables que permite combinar las funciones base con distintas ponderaciones entre ellas, y $\hat{y}(\mathbf{x}_k)$ es el ajuste (la aproximación, o *predicción*) al valor experimental $y(\mathbf{x}_k)$.

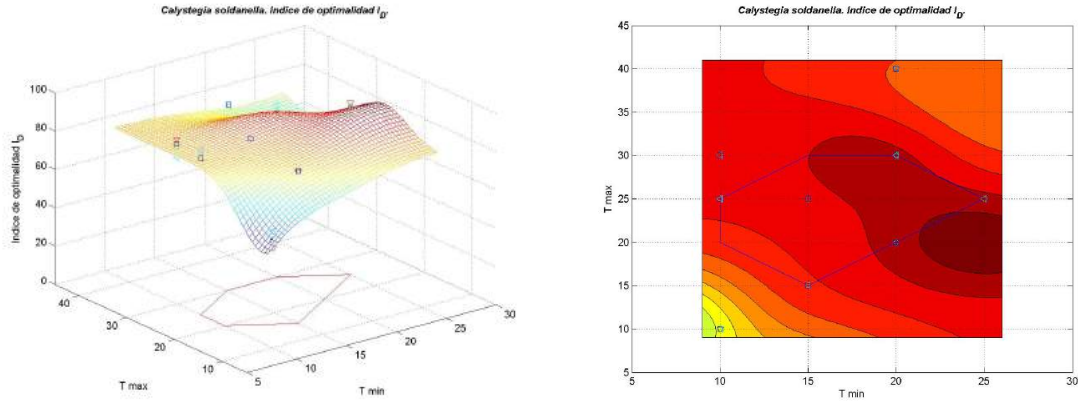


Fig. 2.30: *Calystegia soldanella*. Aproximación mediante redes neuronales de tipo RBF de la función $I_D = f(T_{\min}, T_{\max})$ que relaciona el índice de optimalidad I_D con las condiciones de temperatura de germinación. Función obtenida (der.). Representación mediante las curvas de nivel de la misma (izq.).

Las funciones base pueden ser de distintos tipos, siendo las funciones tipo campana de Gauss las más utilizadas. La selección de las funciones base y sus parámetros asociados (ancho y centro) puede realizarse bien mediante preselección *a priori* basada en consideraciones sobre la función a aproximar (e.g. grado de suavidad), bien mediante métodos automáticos (Isasi & Galván, 2004).

El ajuste de los coeficientes de ponderación θ_i en la ecuación (2.11) puede realizarse mediante métodos de *mínimos cuadrados*. Dados N datos experimentales $\{x(k), y(k)\}_{k=1..N}$, buscaremos los θ_i que minimicen una función del error de ajuste (predicción):

$$V_N(\hat{\theta}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \left[y(\mathbf{x}_k) - \hat{y}(\mathbf{x}_k, \hat{\theta}) \right]^2$$

siendo \hat{y} el ajuste, la predicción del valor de $y(\mathbf{x}_k)$ (e.g. predicción del porcentaje de germinación), que proporciona la red neuronal en el punto \mathbf{x}_k , correspondiente, en el caso particular de esta tesis, a las condiciones de temperatura.

La gráfica 2.30 muestra el tipo de resultados obtenidos. En la parte izquierda se muestran, como ejemplo, los datos experimentales disponibles para el índice de optimalidad I_D a varias temperaturas, así como el ajuste obtenido.

Como se observa en la gráfica 2.30b, la representación gráfica mediante curvas de nivel es muy informativa, en este caso particular muestra condiciones óptimas de germinación para temperaturas medias en el entorno de los 20-25°C .

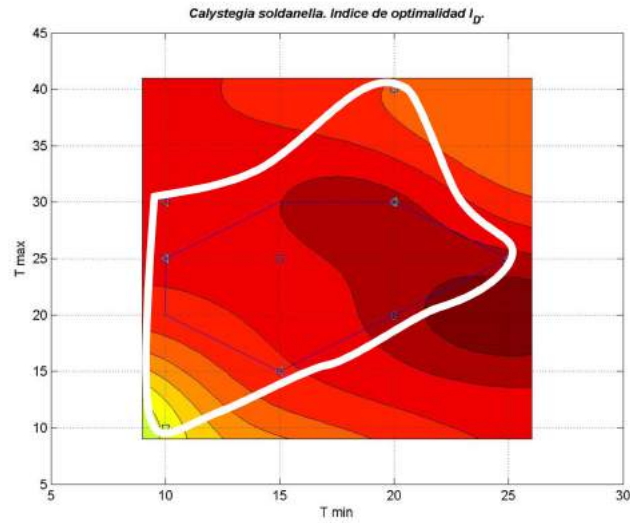


Fig. 2.31: *Calystegia soldanella*. Región de validez del modelo.

Es importante resaltar que los métodos de ajuste de datos basados en modelos parametrizados de *caja negra* (e.g. rectas de regresión, redes neuronales, etc.) dan buenas predicciones cuando se utilizan para interpolar, pero no es necesariamente así si se utilizan para extrapolar resultados. Esto, en la práctica, quiere decir que los ajustes obtenidos sólo deben utilizarse en el interior de la región en la que había datos experimentales para el ajuste del modelo. Así, en el ejemplo usado como guía en esta sección, la región de validez del mismo será (aproximadamente) la región interior a curva blanca indicada en la gráfica 2.31.

2.8.2. Ajustes a rectas de regresión

El ajuste a modelos con estructura de recta se ha utilizado para el cálculo de la temperatura base, $T_b(^{\circ}\text{C})$, y el tiempo térmico, $S(^{\circ}\text{C dia})$, en condiciones de germinación a temperatura constante, así como para el cálculo del potencial osmótico base, $\Psi_b(\text{MPa})$, y el hidrotiempo, $\Theta(\text{MPa dia})$, a diferentes concentraciones salinas. La temperatura base ($T_b(^{\circ}\text{C})$), y el potencial osmótico base, ($\Psi_b(\text{MPa})$), son estimaciones de la mínima temperatura por debajo de la cual no hay germinación y máxima concentración salina por encima de la cual no hay germinación. El tiempo térmico ($S(^{\circ}\text{C dia})$) y el hidrotiempo ($\Theta(\text{MPa dia})$) corresponden a la inversa de las pendientes de las rectas que relacionan la inversa del tiempo de germinación con la temperatura o el potencial osmótico, según sea el caso.

Mayor pendiente en la recta implica un valor bajo de tiempo térmico, es decir, que el tiempo de germinación cae más rápido conforme la temperatura aumenta

desde la temperatura base hasta la temperatura óptima de germinación. Un valor alto de tiempo térmico indica lo contrario, que el tiempo de germinación no decrece rápidamente desde la temperatura base a la óptima. Estos parámetros se relacionan con la competitividad de las especies a la hora de germinar. La recta de regresión que quede por encima indica que esa especie es más rápida germinando y por tanto más competitiva.

Por lo que respecta al hidrotiempo, la situación es análoga. El valor del hidrotiempo corresponde a la inversa de la pendiente de la recta que relaciona la inversa del tiempo de germinación con el potencial osmótico del medio. En este caso un hidrotiempo alto significa que el tiempo de germinación aumenta rápidamente conforme aumenta la salinidad del medio. Un hidrotiempo bajo quiere decir lo contrario.

Nota: todos estos cálculos son siempre en condiciones de temperaturas constantes, que no necesariamente son las óptimas para una determinada especie. En algunos casos el óptimo de germinación es una condición de temperatura alterna.

Cálculo de la temperatura base, $T_b(^{\circ}\text{C})$, y el tiempo térmico, $S(^{\circ}\text{C dia})$

En condiciones de germinación a temperatura constante, si se observan los datos de inversa del tiempo de germinación respecto a la temperatura, para un porcentaje de germinación dado, se observa en muchos casos una curva en forma de V invertida, con una relación lineal creciente en el rango de temperaturas por debajo de la óptima, y una relación lineal decreciente para temperaturas superiores a la óptima (Bradford, 2002; Trudgill *et al.*, 2005). Para temperaturas iguales o inferiores a la óptima, esa relación se puede expresar mediante la ecuación:

$$\frac{1}{t_g} = \frac{T - T_b}{S} \quad (2.12)$$

donde t_g es el tiempo de germinación a un porcentaje determinado de germinación, $T_b(^{\circ}\text{C})$ es la temperatura base, por debajo de la cual no hay germinación, y $S(^{\circ}\text{C dia})$ es el tiempo térmico.

En la tesis se han calculado la temperatura base y el tiempo térmico para el porcentaje final de germinación correspondiente a cada especie y condición de temperatura de germinación constante ($T = \{10, 15, 20, 25\}^{\circ}\text{C}$), con el fin de poder comparar los resultados entre especies. El cálculo se ha realizado mediante un ajuste de mínimos cuadrados a un modelo de la forma:

$$\frac{1}{I_2} = aT + b \quad (2.13)$$

donde, como medida del tiempo de germinación se ha utilizado el índice de velocidad de germinación I_2 desnormalizado y expresado en días transcurridos hasta la germinación máxima. El ajuste se realizó para los datos experimentales desde la menor temperatura (10°C) hasta la primera temperatura constante con máximo de velocidad. En los casos en los que no hubo germinación se tomó $\frac{1}{I_2} = 0$. Para cada condición de temperatura se utilizaron los valores de I_2 (días) correspondientes a las cuatro placas Petri sobre las que se ensayó.

Tras obtener los valores de los coeficientes a y b del ajuste, se calcularon la temperatura base y la constante termal mediante las expresiones:

$$\begin{aligned} T_b &= -\frac{b}{a} \\ S &= \frac{1}{a} \end{aligned} \tag{2.14}$$

Cálculo del potencial osmótico base, Ψ_b (MPa), y el hidrotiempo, Θ (MPa dia)

De forma análoga al caso anterior, se ha observado también una relación típicamente lineal entre la inversa del tiempo de germinación respecto al potencial osmótico del medio de germinación, para un porcentaje de germinación dado (Bradford, 1990). En este caso, la relación se expresa como:

$$\frac{1}{t_g} = \frac{\Psi - \Psi_b}{\Theta} \tag{2.15}$$

donde t_g es el tiempo de germinación a un porcentaje determinado de germinación, Ψ_b (MPa) es el potencial osmótico base, por debajo del cual no hay germinación, y Θ (MPa dia) es el denominado hidrotiempo. El cálculo de estos últimos se ha realizado siguiendo un procedimiento análogo al del cálculo de la temperatura base y tiempo térmico en la sección anterior.

En este caso, el análisis se realizó sobre datos de germinación a la temperatura experimental óptima obtenida para cada especie y en condiciones de concentración salina del medio desde 0mM hasta 500mM cada 100mM. Para la realización del ajuste se tomaron los datos desde la menor concentración salina a la cual no se produjo germinación y hasta la condición de control correspondiente a concentración salina 0mM.

Los cálculos del potencial osmótico de las soluciones de Cloruro Sódico están basadas en la ecuación de Van 't Hoff (Ben-Gal *et al.*, 2009). La tabla 2.7 relaciona los valores de concentración salina con el potencial osmótico:

Concentración (mM)	Potencial osmótico (MPa)
0 mM	0 MPa
50 mM	- 0.22 MPa
100 mM	-0.43 MPa
150 mM	-0.65 MPa
200 mM	-0.86 MPa
250 mM	-1.08 MPa
300 mM	-1.30 MPa
400 mM	-1.73 MPa
500 mM	-2.16 MPa

Tabla 2.7: Relación entre los valores de concentración salina en mM y potencial osmótico en MPa.

2.8.3. Análisis multivariante: análisis cluster, análisis de componentes principales (PCA) y análisis factorial (FA)

Cuando se estudia un conjunto grande de variables y se analizan separadamente utilizando métodos univariados, es difícil interpretar de manera global los datos. Normalmente una gran cantidad de datos genera confusión en su interpretación, lo cual dificulta la obtención de conclusiones sintéticas. Además en numerosos casos se llega a interpretaciones erróneas de los resultados porque se ignora la posible correlación o interdependencia entre variables. Con el análisis multivariante se podrá obtener un análisis y un modelado más ajustado del comportamiento de un grupo de variables de gran tamaño. Además, constituye una herramienta de visualización de los datos que permite el reconocimiento de diferentes patrones de comportamiento. Estos métodos permiten extraer la máxima información posible de los datos recopilados en el presente estudio.

Cuando se estudia un conjunto grande de variables, con frecuencia se observa que algunos grupos varían de forma concordante (se mueven juntas). Normalmente estas variables están dirigidas por el mismo principio de gobierno del comportamiento, es decir, están intrínsecamente relacionadas. Por tanto, es interesante ver si se puede encontrar un grupo de variables reducido, llamadas variables latentes, que expliquen el comportamiento del resto. De esta forma se obtiene un modelo más compacto, con menor número de variables, más fácilmente interpretable.

Para el análisis multivariable se ha utilizado el paquete estadístico `princomp` y `biplot` de Matlab[®] (The Mathworks Inc.) y se han aplicado dos aproximaciones diferentes: el análisis clúster (método de clasificación de datos) y dos tipos de análisis de reducción de datos, como son el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis factorial (FA). Ambas aproximaciones proporcionan una simplificación de la estructura de los datos mucho más fácil de visualizar.

Análisis clúster El análisis clúster o de clasificación, también conocido como análisis taxonómico crea grupos de datos por nivel de similitud. Es un método jerárquico que consiste en obtener una serie de subgrupos de objetos de forma que los más pequeños están incluidos en los mayores. El análisis clúster clasifica una muestra de entidades (individuos o variables) en un número pequeño de grupos de forma que las observaciones pertenecientes a un grupo sean muy similares entre sí y muy diferentes del resto. A priori se desconoce el número y la composición de dichos grupos. Su representación gráfica es un dendrograma. Este tipo de análisis se ha utilizado para comparar las especies de cada clase en función de las variables estudiadas, como son porcentaje y velocidad de germinación e Índice de Optimalidad.

Análisis de componentes principales (PCA) Este es un método cuantitativo bastante riguroso para simplificar los resultados de un gran número de variables en unas pocas dimensiones (componentes principales o variables latentes), y poder de esta manera, visualizarlas. Con su aplicación se busca interpretar la dispersión de los datos (varianza), respecto a sus valores medios, en términos de un número reducido de variables, los denominados componentes principales. Los componentes principales capturan las direcciones en las que se da la máxima dispersión de los datos. Es un método descriptivo que puede utilizarse para predecir en que categoría deben clasificarse unos datos experimentales dados. Cada componente principal es una combinación lineal de las variables originales.

El resultado del PCA es una matriz de cargas (*loadings*) que contiene los coeficientes de las transformaciones lineales de las variables originales que dan lugar al componente principal. Las coordenadas de las observaciones en el subespacio latente se conocen como puntuaciones (*scores*). Se recogen en una matriz de puntuaciones que expresa los datos originales transformados en los valores de los componentes principales. Una vez se han calculado las componentes principales o las componentes del análisis factorial, se puede hacer una rotación de los ejes para facilitar la interpretación y representación gráfica de las componentes (o los factores latentes).

Esta rotación no altera la varianza explicada, y a partir de ella se recalculan los parámetros de carga y las puntuaciones.

Es importante notar que estos análisis intentan obtener la estructura de correlaciones entre dos grupos de variables; uno tomado como variables independientes (*categorías*), y el otro tomado como variables dependientes (muestras u observaciones). Tomar un conjunto de variables o el otro como dependiente o independiente depende de cual es el conjunto de variables en el que interesa determinar si existen interrelaciones subyacentes (un orden interno). En esta tesis interesa estudiar la agrupación de especies en asociaciones y clases. Una pregunta interesante que se intentará responder es si los datos experimentales obtenidos en las pruebas de germinación realizadas, también pueden explicarse por la presencia subyacente de agrupaciones de especies. Por esa razón, tal como se ha realizado el estudio de análisis de componentes principales, las especies representan las variables independientes. Por tanto, los componentes principales se obtienen como combinación de las especies, siendo las cargas los coeficientes de combinación correspondientes. En este estudio se parte de 15 especies, 54 variables medidas o calculadas correspondientes a los resultados experimentales obtenidos y 7 variables descriptivas. En total, 61 variables experimentales para cada especie, que se denominan observaciones. En la tabla 2.8 se muestran todas las variables analizadas o consideradas y las variables referidas a valores medios de las temperaturas mínimas, medias y máximas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas, tanto para porcentaje de germinación como para velocidad, que se calcularon a partir de los resultados de los análisis ANOVA. Se consideró el conjunto de condiciones experimentales óptimas estadísticamente no distinguibles, tanto desde el punto de vista de porcentaje como de velocidad de germinación, para cada especie. Sobre esos conjuntos se obtuvo el valor medio. Las 61 variables experimentales que se han obtenido para cada especie serán consideradas las variables dependientes. Cada una de ellas puede representarse en el espacio de componentes principales mediante sus coordenadas en él. Estas coordenadas son las puntuaciones.

Los resultados pueden expresarse en forma de tablas y representarse gráficamente. En este segundo caso hay dos tipos de gráficos:

- Mapa de cargas. También llamado mapa de variables: indican el peso relativo de una variable en cada componente. A mayor valor absoluto de esta cifra, más importante es la variable dentro de un componente concreto. Indica la importancia que tiene cada variable en cada componente principal. Cada especie se representa

gráficamente como un vector, cuya dirección y longitud nos indica como participa cada una de las variables latentes.

- Mapa de puntuaciones. También llamados mapas de casos: corresponde a la representación gráfica de las coordenadas de las variables dependientes u observaciones en el nuevo espacio definido por los componentes principales, siendo posible observar relaciones entre ellas. En esta tesis, las observaciones, como ya se ha dicho, corresponden a los 61 resultados experimentales de germinación obtenidos para cada especie. El mapa de puntuaciones permite visualizar las relaciones entre observaciones, así como que variables latentes explican en mayor medida cada observación.

En resumen, el análisis realizado pretende determinar si existe un orden subyacente en las especies (un número reducido de variables latentes obtenidas como combinaciones de especies) que explica los datos experimentales obtenidos de los análisis de germinación que se han realizado sobre el conjunto de especies. El objetivo que se ha perseguido es determinar si los resultados experimentales explican la pertenencia de las distintas especies a sus correspondientes clases.

Análisis factorial (FA) Cuando se estudia un conjunto grande de variables, con frecuencia se observa que algunos grupos varía de forma concordante (se mueven juntas). Normalmente estas variables están dirigidas por el mismo principio de gobierno del comportamiento, es decir, están intrínsecamente relacionadas. Por tanto, es interesante ver si se puede encontrar un grupo de variables reducido, llamadas variables latentes, que expliquen el comportamiento del resto. Este método es explicativo. El análisis factorial proporciona una herramienta para estimar la posible interdependencia entre las variables estudiadas. Esta característica entre variables se transforma a través del análisis factorial en factores no observables (latentes). De este modo se obtiene un modelo más compacto, con menor número de variables. Debido a que cada factor puede afectar a varias variables, estos factores se llaman factores comunes. Cada variable se supone que depende de una combinación de factores comunes, y los coeficientes que se obtienen son las cargas. La representación gráfica que facilita observar la distribución de las especies en el espacio se obtiene como en PCA.

Este método se basa en el mismo principio que el PCA pero se diferencia en la forma de calcular la distancia entre puntos. El PCA trata de obtener componentes que expliquen la mayor parte de la varianza total, mientras que el FA busca factores

eu expliquen la mayor parte de la varianza común. El análisis factorial distingue lo que es varianza común, la variación de una variable compartida con otras variables y la varianza única, que es la parte de la variación de la variable que le es propia. El PCA no considera esta distinción ya que se centra en la varianza total. El PCA busca hallar combinaciones lineales de variables originales, que expliquen la mayor parte de la variación total, y el AF pretende hallar un nuevo conjunto de variables, menos en número que las originales, que exprese lo que es común a todas esas variables. Por tanto, los dos métodos dan información ligeramente diferente.

Ambos análisis se han utilizado para el análisis global de todos los valores de las variables observadas para las especies estudiadas. La finalidad de estos análisis es validar un planteamiento inicial: la existencia de relación entre los parámetros estudiados de la respuesta germinativa a factores ambientales, como la temperatura y la salinidad, y la distribución de especies en su hábitat natural. Es decir, comprobar que la respuesta germinativa es un factor relevante en la adscripción de las diferentes especies a las comunidades vegetales de las formaciones dunares litorales.

Orden	Variable	Descripción
1 a 9	% G 10°C , . . . , % G 40/20°C	porcentajes de germinación a 10, 15, 20, 25, 30/10, 30/20, 25/10, 25/15, y 40/20°C respectivamente
10 a 14	% G 100 mM, . . . , % G 500 mM	porcentaje de germinación a 100, 200, 300, 400, y mM de ClNa respectivamente
15 a 23	I_2 10°C , . . . , I_2 40/20°C	velocidad de germinación a 10, 15, 20, 25, 30/10, 30/20, 25/10, 25/15, y 40/20°C respectivamente
24 a 28	I_2 100 mM, . . . , I_2 500 mM	velocidad de germinación a 100, 200, 300, 400, y 500 mM de ClNa respectivamente
29	Biotipo	Terofito, hemicriptofito, geofito, camefito, nanofanerofito, nano-mesofanerofito
30	Tipo de tallos	Escaposo, rizomatoso, sufruticoso, bulboso
31	Ciclo de vida	Anual, perenne
32	Imbibición (tiempo que tarda la semilla en activarse metabólicamente)	Imbibición/ no imbibición
33	Escarificado (rotura de la dormición)	escarificada/ no escarificada
34	Ancho de la semilla	en mm
35	Largo de la semilla	en mm
36	T_b	Temperatura base (°C)
37	S	Tiempo térmico (°C día)
38	Ψ_b	Potencial osmótico base (Mpa)
39	Θ	Hidrotiempo (MPa día)
40	Media T_{minopt} para % germinación	Valor medio de las temperaturas mínimas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para % de germinación
41	Media T_{minopt} para I_2	Valor medio de las temperaturas mínimas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para I_2
42	Media $T_{mediaopt}$ para % germinación	Valor medio de las temperaturas medias correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para % de germinación
43	Media $T_{mediaopt}$ para I_2	Valor medio de las temperaturas medias correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para I_2
44	Media T_{maxopt} para % germinación	Valor medio de las temperaturas máximas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para % de germinación
45	Media T_{maxopt} para I_2	Valor medio de las temperaturas máximas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para I_2
46	Media $\Delta T^{\alpha_{optima}}$ para % germinación	Valor medio de las temperaturas máximas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para % de germinación
47	Media $\Delta T^{\alpha_{optima}}$ para I_2	Valor medio de las temperaturas máximas correspondientes a las condiciones experimentales óptimas para I_2
48 a 56	I_D a 10°C , . . . , % G 40/20°C	Índice de Optimalidad a 10, 15, 20, 25, 30/10, 30/20, 25/10, 25/15, y 40/20°C respectivamente
57 a 61	I_D a 100 mM, . . . , % G 500 mM	Índice de Optimalidad a 100, 200, 300, 400, y mM de ClNa respectivamente

Tabla 2.8: Descripción de las variables utilizadas en los análisis multivariantes.

3 Barrido de temperaturas. Resultados y análisis

3.1. Introducción

En este capítulo se analizan por especies los datos obtenidos del barrido de temperaturas. La elección de la temperatura a la que se hizo la germinación se describe y justifica en el capítulo 2 (2.3.3).

3.2. Resultados y análisis por especies

3.2.1. *Cakile maritima* Scop.

La germinación obtenida en las diferentes temperaturas estudiadas se muestra en la figura 3.1 (arr.). Se puede observar el porcentaje de germinación a lo largo del tiempo. Indica que el patrón en el inicio de la germinación es el mismo en prácticamente todas las temperaturas estudiadas, ya que las semillas comienzan a germinar casi desde el inicio del estudio. En las mejores condiciones, 25/10°C y 25/15°C, donde la tasa de germinación es cercana al 100 %, se alcanza dicho máximo a los 15 días del inicio del ensayo.

La figura 3.1 (baj.), que muestra el porcentaje de germinación *vs.* el índice de velocidad de germinación (I_2), indica que en general los datos tienen muy poca dispersión, en la mayoría de los tratamientos, siendo los resultados bastante buenos en todas las temperaturas a excepción de 40/20°C, en cuyo caso la dispersión en el índice de velocidad de germinación es la mayor. La variación de respuesta desde la temperatura óptima hacia los extremos es gradual, no se producen saltos bruscos, no existe una preferencia absoluta por una condición concreta. Los mejores resultados se obtienen para 25/10°C, 30/20°C y 25/15°C, donde el porcentaje de germinación es casi del 100 %, con un I_2 de aproximadamente 90. En un segundo grupo están 30/10°C y 20°C con un 75 % de germinación y una velocidad que supera el 85. En un tercer grupo se encuentran los resultados de germinación correspondientes a las temperaturas constantes de, 15°C, 25°C y 10°C, con un porcentaje de germinación sobre el 50-60 % y con un I_2 igual que el primer grupo y, por último, el peor resultado

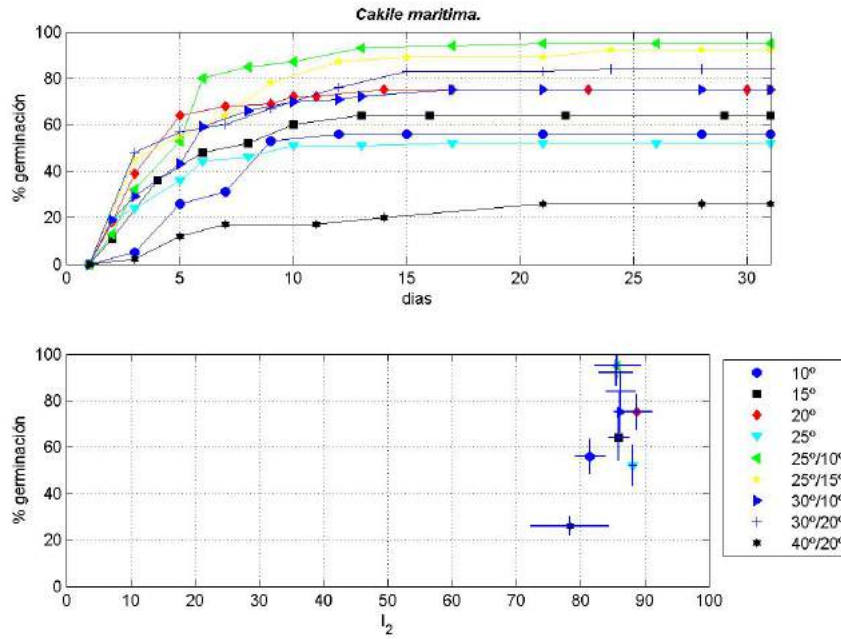


Fig. 3.1: *Cakile maritima*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

se obtiene de la condición 40/20°C con un 26 % de germinación y con un I_2 cercano a 80.

La tabla 3.1 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.1 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

<i>Cakile maritima</i>						
Temperatura	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	%G	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	56.00	7.30	81.51	2.29	0	0
15°	64.00	9.80	85.98	1.56	0	0
20°	75.00	7.57	88.73	2.43	0	0
25°	52.00	8.64	88.13	0.67	0	0
25°/10°	95.00	5.03	85.74	3.57	0	0
25°/15°	92.00	5.66	85.56	2.63	0	0
30°/10°	75.00	8.87	86.19	0.95	1	0
30°/20°	84.00	8.64	86.26	2.27	0	0
40°/20°	26.00	4.00	78.40	6.06	1	0

Tabla 3.1: *Cakile maritima*. Porcentaje de germinación (%G) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media (%G, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

Los resultados que aparecen en el análisis ANOVA referido a las medias de porcentaje de germinación, véase la figura 3.2 (der.), muestran varios grupos significativamente diferentes, siendo el mejor el de las temperaturas alternas de 25/10°C y 25/15°C .

El análisis ANOVA referente al índice de velocidad de germinación, véase la figura 3.2 (izq.), indica dos grandes grupos. Un primer grupo con las condiciones más desfavorables de 10°C y 40/20°C , y un segundo grupo con el resto de condiciones del barrido de temperaturas.

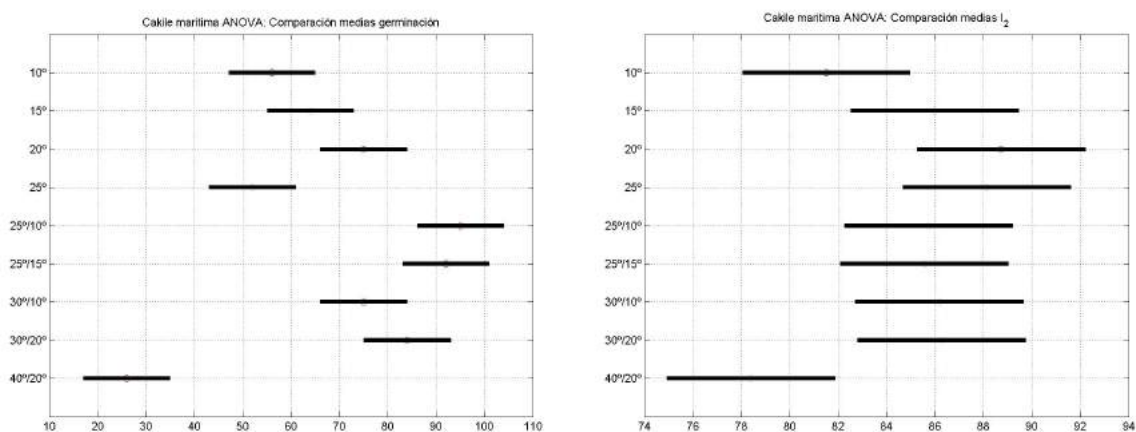


Fig. 3.2: *Cakile maritima*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

La figura 3.3 muestra los frentes Pareto-óptimos de porcentaje y velocidad de germinación. Debe recordarse que en la optimización mediante el método Pareto, no se considera ninguno de ambos indicadores preferente frente al otro. Es decir, no se optimiza ningún tipo de suma ponderada de ambos. Muestra tres condiciones que se consideran las mejores: 25/10°C , 30/20°C y 20°C . Se observa, también, un segundo grupo con las condiciones 30/10°C , 25/15°C y 25°C . Y un tercer grupo con las condiciones 10°C , 15°C y 40/20°C . Los resultados obtenidos muestran que las condiciones óptimas de germinación, tanto desde el punto de vista de porcentaje, como desde el punto de vista de velocidad de germinación, se sitúan en la franja de temperaturas máximas entre los 20-30°C , independientemente de la temperatura mínima.

La tabla 3.4 (der.) muestra los resultados obtenidos para el índice ponderado de velocidad y porcentaje de germinación, I_D , para los datos experimentales. La figura 3.5 muestra una representación gráfica de los datos. Indica que las mejores condiciones son 25/10°C , 25/15°C , 30/20°C y 20°C , siendo la peor 40/20°C .

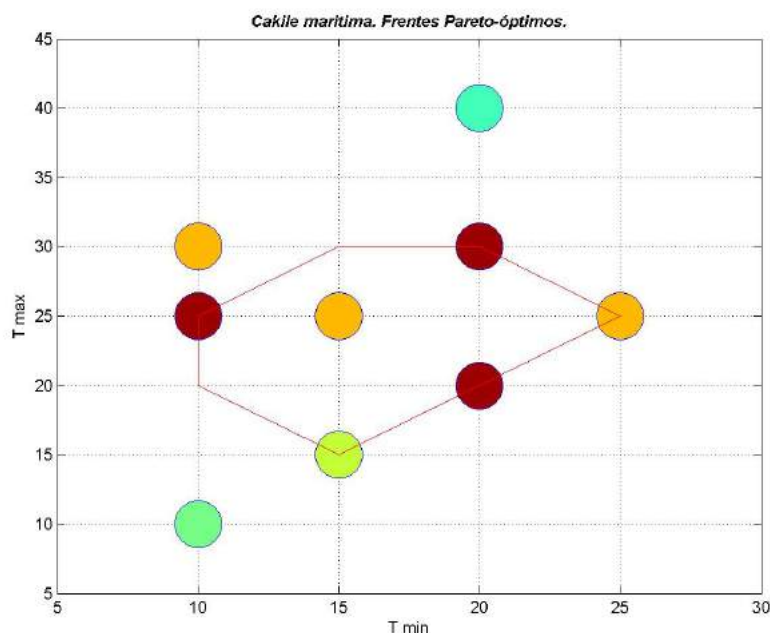


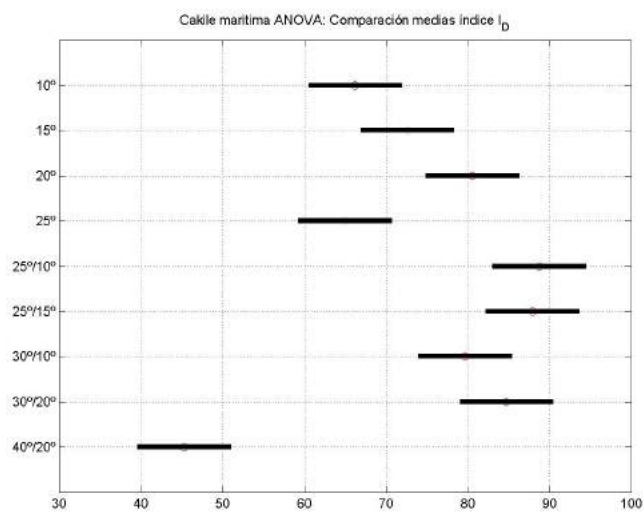
Fig. 3.3: *Cakile maritima*. Frentes Pareto-óptimos de $\%G$ y de I_2 .

El análisis ANOVA aplicado a los resultados del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, véase la figura 3.4 (izq.), se muestran varios grupos significativamente diferentes. En el peor grupo se encuentra la temperatura alterna de $40/20^{\circ}\text{C}$, en el grupo intermedio se encuentran las temperaturas 10°C , 15°C y 25°C , y en el tercer grupo el resto. Este tercer grupo tiene como destacadas las alternas suaves de $25/15^{\circ}\text{C}$ y $25/10^{\circ}\text{C}$, que destacan sobre 20°C , $30/10^{\circ}\text{C}$ y $30/20^{\circ}\text{C}$.

Cuando se expresan los resultados en un figura de curvas de nivel (ver figura 3.6), la región correspondiente a las mejores condiciones es la de temperaturas máximas entre 20°C y a 30°C y mínimas no superiores a 20°C . Este resultado es coherente con la información proporcionada por la optimización mediante el método de Pareto. En aquel caso se obtenían como mejores condiciones las correspondientes a toda la franja de temperaturas máximas entre $20-30^{\circ}\text{C}$. En el caso del índice ponderado I_D la región óptima es la misma, pero limitada a temperaturas mínimas no superiores a unos 20°C , como ya se ha indicado antes. Si se miran los resultados numéricos de porcentaje y velocidad de germinación (tabla 3.1), se puede entender esta diferencia. En efecto, el índice ponderado, I_D , evalúa el resultado obtenido para condiciones de temperatura constante a 25°C como "malo", ya que la velocidad de germinación es muy alta (88%) pero el porcentaje de germinación es muy bajo (52%). La optimización vía frentes de Pareto, en cambio, "ve" sólo que la velocidad de germinación

<i>Cakile maritima</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	66.24	5.32
15°	72.63	6.74
20°	80.55	5.35
25°	65.01	5.96
25°/10°	88.76	1.73
25°/15°	87.96	2.81
30°/10°	79.63	5.55
30°/20°	84.73	5.05
40°/20°	45.32	1.36

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.4: *Cakile maritima*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

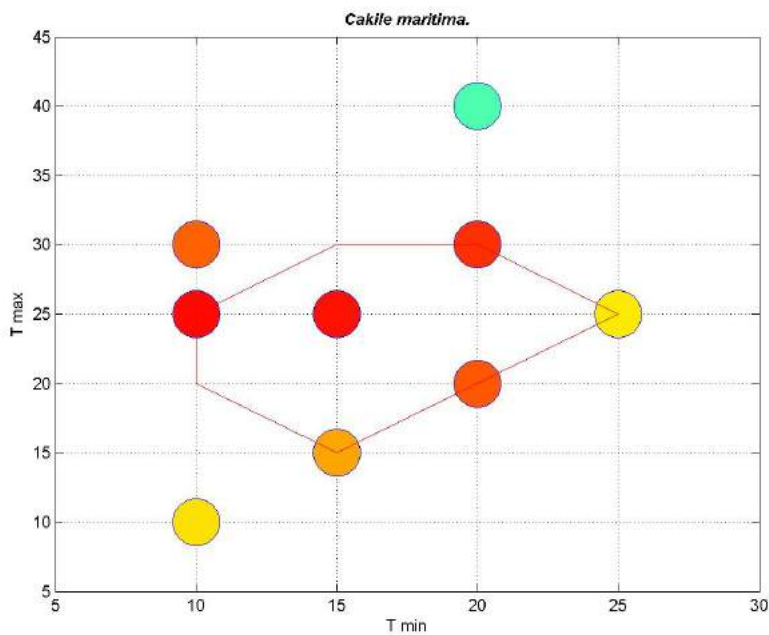


Fig. 3.5: *Cakile maritima*. Representación gráfica de I_D .

es excepcionalmente alta (de hecho, una de las dos más altas). En consecuencia, sitúa esta condición en el uno de los primeros frentes de Pareto, concretamente en el segundo.

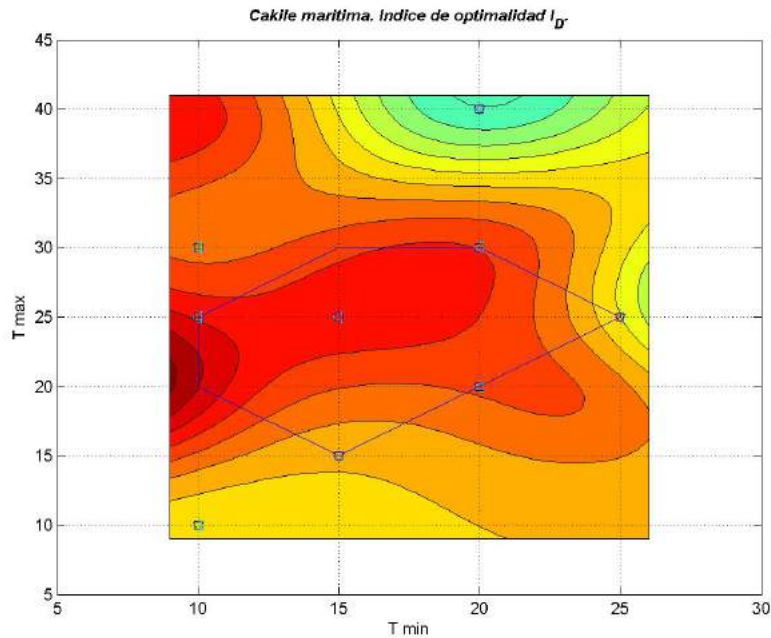


Fig. 3.6: *Cakile maritima*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

Finalmente, en la gráfica 3.7 se representa la inversa de I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de -4.58°C . El valor de S, tiempo térmico o constante termal, es $83.31^{\circ}\text{C día}$. Los valores de I_2 no coinciden con los de la tabla 3.1, ya que los valores de I_2 se expresan en días transcurridos hasta la germinación máxima. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes va subiendo hasta un máximo en 20°C y luego a los 25°C disminuye.

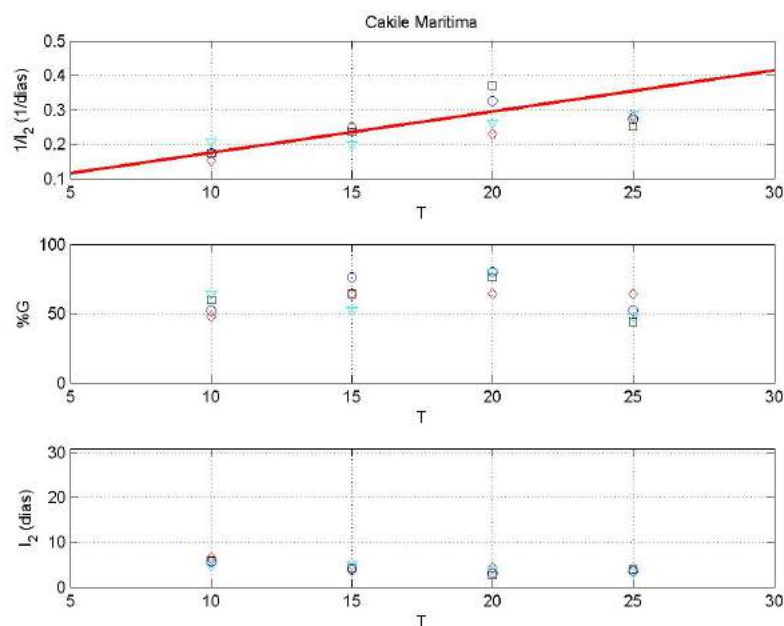


Fig. 3.7: *Cakile maritima*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

3.2.2. *Glaucium flavum* Crantz

En la gráfica 3.8 (arr.) se ven representados los resultados obtenidos de germinación a las diferentes temperaturas estudiadas a lo largo del tiempo. Hay un patrón de respuesta igual para todas las temperaturas estudiadas, a excepción de 20°C y 25°C, en las cuales no hay respuesta de ningún tipo. En todas las demás temperaturas la germinación comienza pasados cinco días de la siembra, alcanzándose los máximos de porcentaje de germinación entre diez y quince días después aproximadamente. Es decir, a diferencia de lo que ocurría con la *Cakile maritima*, aquí si se observa un tiempo de latencia importante.

Cuando se observa la gráfica 3.8 (baj.), que muestra el porcentaje de germinación frente a la velocidad de germinación (I_2), se ven dos grupos significativos de resultados; uno con 20°C y 25°C constantes, condiciones de germinación donde no hay germinación alguna, y con temperatura de germinación a 10°C con unos valores de porcentaje y velocidad de germinación muy bajos. El segundo grupo, está formado por el resto de temperaturas, siendo los que mejores resultados presentan las alternas 25/10°C, 25/15°C y 30/10°C. A 15°C constantes el porcentaje de germinación

es cercano al 40% pero con una velocidad superior a 60. En el caso de 30/20°C, el porcentaje de germinación es del 21% con una velocidad cercana a 80. A diferencia de otras especies estudiadas, las semillas pueden germinar a 40/20°C con un porcentaje de germinación cercano al 55% y con una velocidad de germinación de 68.

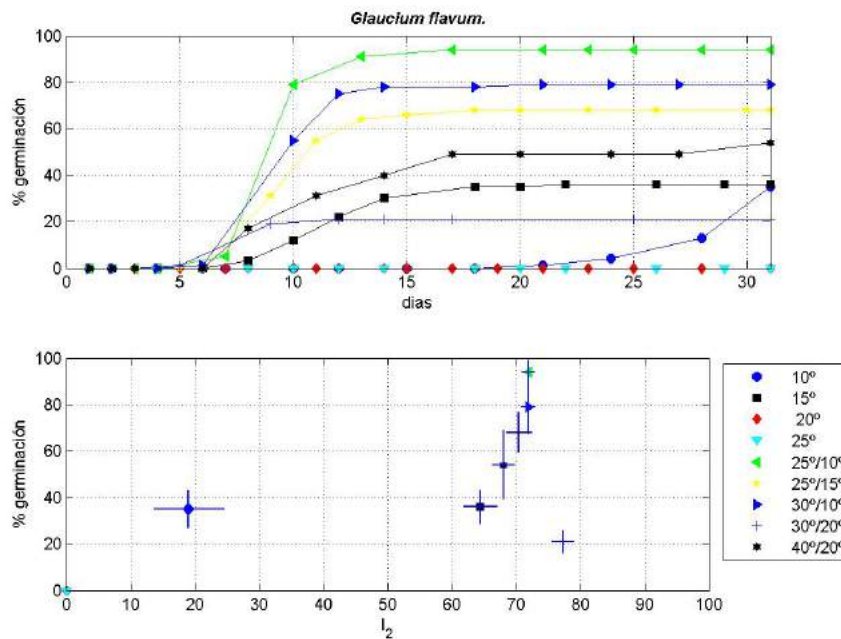


Fig. 3.8: *Glaucium flavum*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

La tabla 3.2 se muestran los datos de medias y desviaciones típicas, y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA referente a las medias de porcentajes de germinación todas las temperaturas estudiadas, véase la figura 3.9 (der.), refleja el grupo de 20°C y 25°C constantes sin germinación; el grupo de 10°C, 15°C y 30/20°C, con valores bajos de porcentaje de germinación; y un tercer grupo con cuatro condiciones, siendo de mejor a peor, 25/10°C, seguida de 25/15°C y 30/10°C y, en último lugar, 40/20°C.

Por otro lado, el análisis ANOVA referente a las medias de velocidad de germinación a todas las temperaturas estudiadas, véase la figura 3.9 (izq.), muestra tres grupos. El peor integrado por 20°C y 25°C, por ausencia de germinación. Un se-

Glaucium flavum

Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	35.00	8.25	19.04	5.4	0	0
15°	36.00	7.30	64.41	2.59	0	0
20°	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°/10°	94.00	5.16	71.92	1.00	0	0
25°/15°	68.00	8.64	70.45	1.95	0	0
30°/10°	79.00	11.49	71.90	1.14	0	0
30°/20°	21.00	5.03	77.31	1.70	0	0
40°/20°	54.00	14.79	68.01	1.70	1	0

Tabla 3.2: *Glaucium flavum*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

gundo grupo con la condición 10°C, y el último con resultados similares, en el que destaca ligeramente el punto 30/20°C como mejor condición.

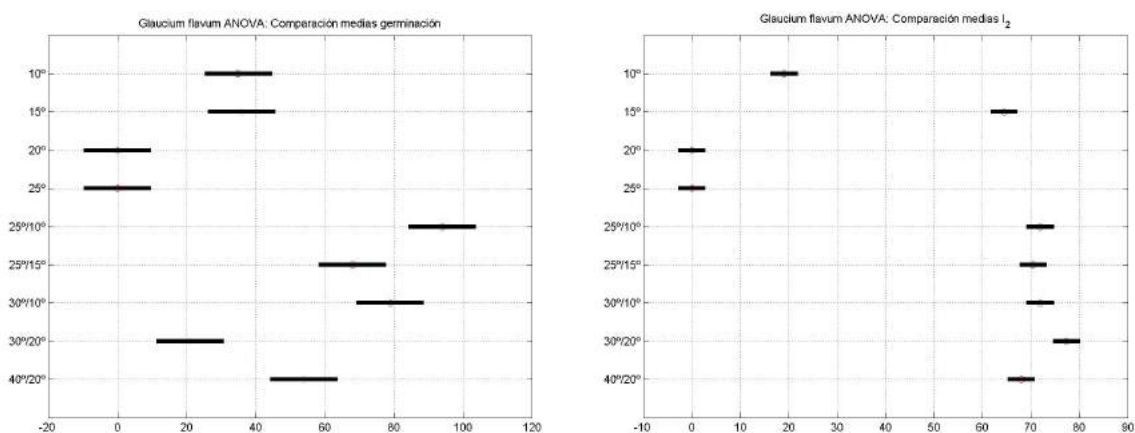


Fig. 3.9: *Glaucium flavum*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

En la figura 3.10 se representan en una figura los frentes Pareto-óptimos correspondientes a porcentaje y velocidad de germinación. Se observa que hay dos condiciones que destacan: 25/10°C por ser la de mayor porcentaje de germinación, y 30/20°C por ser la que mayor velocidad de germinación presenta. Son resultados consistentes con los análisis ANOVA mostrados anteriormente. En el figura se observa muy claramente, como hecho destacable, que esta especie no germina bien

si no es sometida a temperaturas alternas. Desde el punto de vista del análisis de Pareto (donde, de nuevo, se recuerda que porcentaje y velocidad de germinación se optimizan sin ponderación) los valores de temperatura media y de diferencia de temperatura entre la máxima y la mínima no afectan significativamente. Así, el peor resultado observado por la condición 40/20°C es, en principio, más achacable bien al hecho de someter la semilla a una alta temperatura media (30°C), que al hecho de que la diferencia entre la máxima y la mínima sea de 20°C. En efecto, la misma diferencia se observa en la condición de germinación de 30/10°C con buenos resultados.

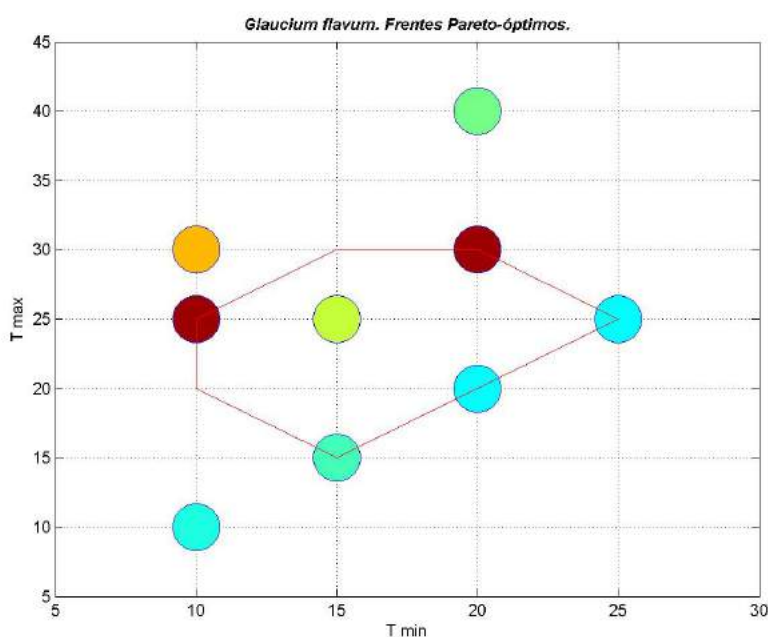


Fig. 3.10: *Glaucium flavum*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

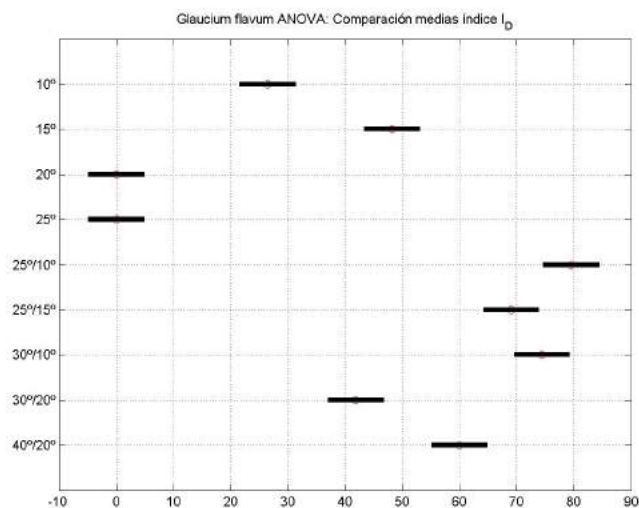
La tabla 3.11 (izq.) y el figura 3.12 muestran los resultados para el índice ponderado I_D . Se ve que la mejor condición es 25/10°C seguida de 30/10°C, y las peores son claramente las tres temperaturas constantes de 25°C, 20°C y 10°C.

El análisis ANOVA aplicado sobre el índice ponderado, I_D entre el porcentaje y la velocidad de germinación, véase la figura 3.11 (der.), muestra varios grupos significativamente diferentes. Un primer conjunto con las temperaturas constantes 20°C y 25°C en el que no hay germinación. Un segundo conjunto con la condición 10°C. Un tercero con 15°C, 30/20°C y 40/20°C, de peor a mejor. Y, por último, el mejor conjunto que incluye las condiciones 25/10°C, 30/10°C y 25/15°C. La con-

dición experimental con mayor porcentaje y velocidad de germinación es la alterna de 25/10°C , donde se alcanza un porcentaje de germinación cercano al 100 %, con un índice de velocidad de 75 aproximadamente.

<i>Glaucium flavum</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	26.43	3.79
15°	48.13	3.67
20°	0	0
25°	0	0
25°/10°	79.47	1.06
25°/15°	68.97	3.92
30°/10°	74.35	2.76
30°/20°	41.87	3.14
40°/20°	59.97	7.12

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.11: *Glaucium flavum*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

Los resultados indican que esta especie va bien con condiciones de temperatura alterna con fuerte contraste entre la máxima y la mínima, con la condición de que la temperatura media de germinación no sea excesivamente elevada (igual o superior a 20°C). La mejor región es la de temperaturas máximas en el rango entre 20°C y 30°C , y mínimas entre 10°C y 15°C . En esta zona las temperaturas máximas son aproximadamente el doble que las mínimas. Obsérvese que la germinación a 40/20°C , que cumple también con el criterio recién mencionado, es también notablemente buena. Es resaltable que el resultado de germinación en estas condiciones haya sido sensiblemente mejor que a 30/20°C , en la que la temperatura media es menor, pero también lo es la diferencia entre la máxima y la mínima. Debe notarse también, a partir de los resultados de los análisis ANOVA, que, dadas condiciones de temperatura alternas, las diferencias entre unas y otras afectan fundamentalmente al porcentaje de germinación, y no a la velocidad de germinación.

Por último, se vuelve a resaltar que el análisis de Pareto y en análisis via el índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación dan información complementaria. Esto se ve claramente en el caso de los resultados obtenidos por ambos para la

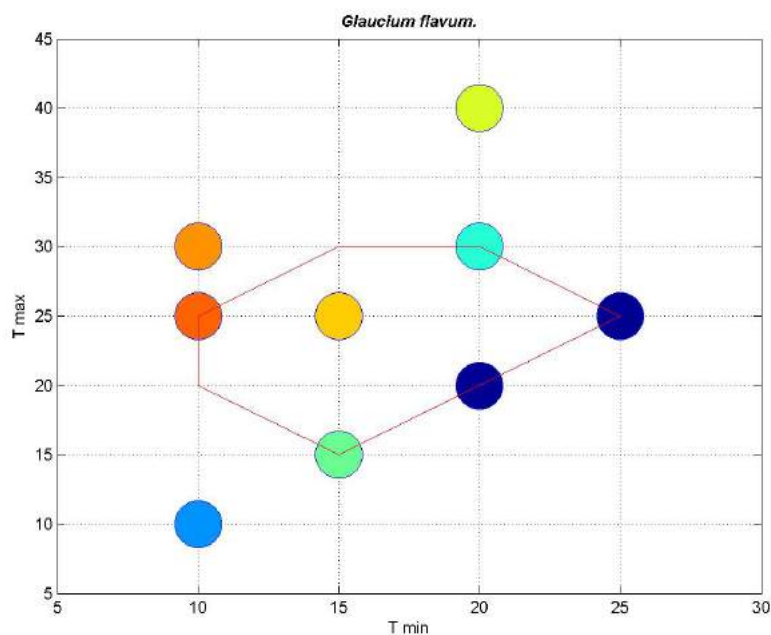


Fig. 3.12: *Glaucium flavum*. Representación gráfica de I_D .

condición de germinación $30/20^{\circ}\text{C}$. El análisis de Pareto ve que a esta condición le corresponde una velocidad de germinación excepcionalmente alta y, en consecuencia, la sitúa como una de las mejores. No hay ninguna otra condición de germinación que ofrezca resultados mejores tanto de porcentaje como de velocidad de germinación simultáneamente. El índice I_D , por contra, pondera el hecho de que el porcentaje de germinación para $30/20^{\circ}\text{C}$ sea muy bajo.

La representación de los resultados mediante un figura de curvas de nivel (ver figura 3.13), muestra claramente que temperaturas máximas cercanas a $25\text{-}27^{\circ}\text{C}$, y mínimas entre $10\text{-}13^{\circ}\text{C}$ son las óptimas para esta especie.

Por último, en la gráfica 3.14 se representa la inversa de I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 6.08°C . El valor de S , el tiempo térmico o constante termal, es 97.99°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes va subiendo hasta un máximo en 15°C y luego a los 20°C decae.

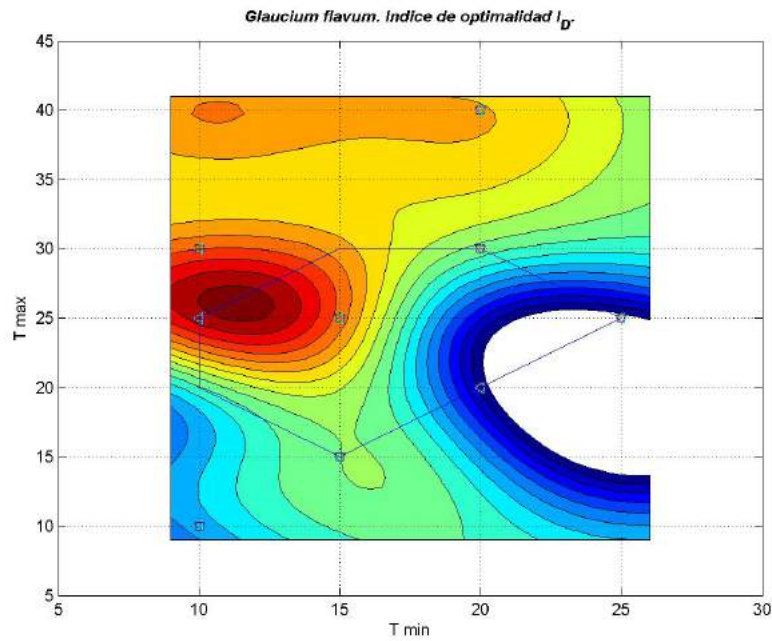


Fig. 3.13: *Glaucium flavum*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

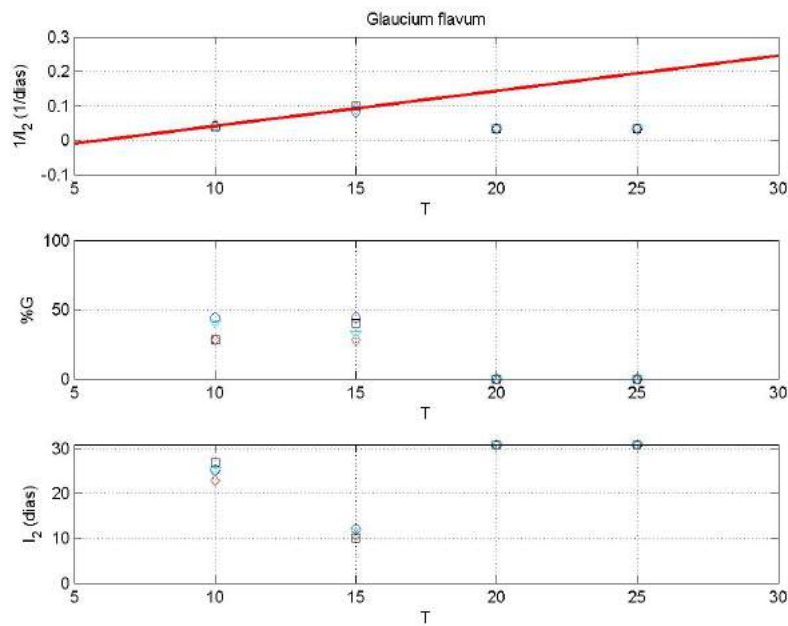


Fig. 3.14: *Glaucium flavum*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

3.2.3. *Elymus farctus* (Viv.) Runemark *ex* Melderis

En la representación de la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación, figura 3.15 (arr.), se ve el mismo patrón de germinación para todos los tratamientos, a excepción de 10°C , que requiere unos siete días antes de comenzar a germinar y, por supuesto, a $40/20^{\circ}\text{C}$ que germina en un porcentaje bajísimo a partir de los 7-8 días. Las mejores condiciones alcanzan el máximo de germinación a los diez días de comenzar el ensayo.

Esta especie, como se ve en la figura 3.15 (baj.), muestra un porcentaje de germinación muy elevado a diferentes tratamientos de temperatura, como son 15°C , $30/20^{\circ}\text{C}$, $25/15^{\circ}\text{C}$, $25/10^{\circ}\text{C}$ y $30/10^{\circ}\text{C}$, y también a 20°C y 25°C , siendo a esta segunda temperatura constante mayor la dispersión en cuanto a porcentaje de germinación. Las peores condiciones se dan para 10°C y, principalmente, para $40/20^{\circ}\text{C}$ para la cual la dispersión de datos del índice de velocidad de germinación es muy elevada.

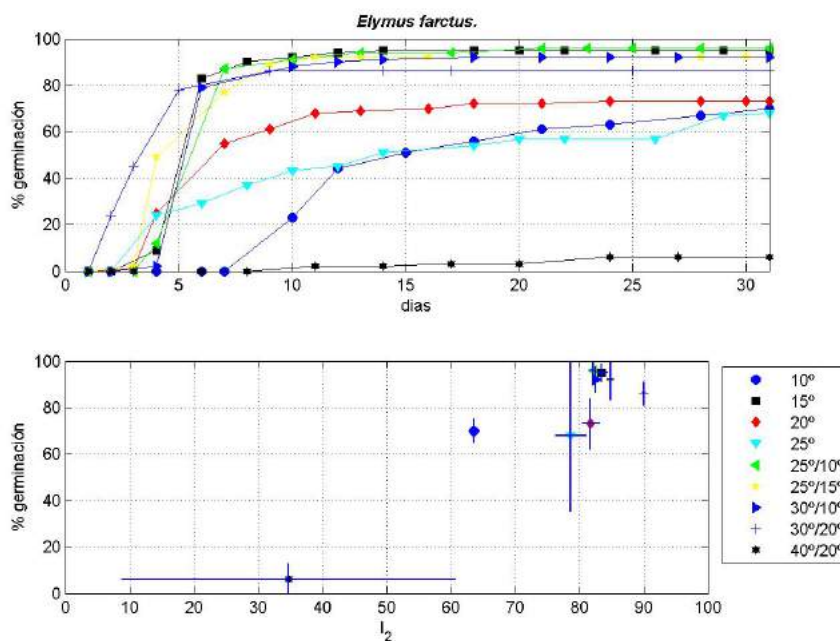


Fig. 3.15: *Elymus farctus*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.3 se muestran los datos de medias y desviaciones típicas para porcentaje y velocidad de germinación (I_2) representadas en la gráfica 3.15 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

<i>Elymus farctus</i>						
Temperatura	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N	(G)N(I_2)
10°	70.00	5.16	63.59	0.79	0	0
15°	95.00	3.83	83.46	0.93	0	0
20°	73.00	11.02	81.76	1.31	0	0
25°	68.00	32.66	78.66	2.38	0	0
25°/10°	96.00	4.62	82.13	0.66	0	1
25°/15°	92.00	8.64	84.82	0.51	0	0
30°/10°	92.00	5.66	82.57	0.40	0	0
30°/20°	86.00	5.16	90.03	0.32	0	0
40°/20°	6.00	6.93	34.76	25.94	0	0

Tabla 3.3: *Elymus farctus*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

El análisis ANOVA referente a la media de los porcentajes de germinación, véase la figura 3.16 (der.), muestra dos grupos claramente diferenciados: uno con los 40/20°C, y otro con el resto de temperaturas. En este último grupo, pueden distinguirse dos subgrupos que con una probabilidad razonable, se pueden considerar “ligeramente” distintos, separándose de la condición 10°C.

El análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, véase la figura 3.16 (izq.), indica que hay tres grupos significativamente diferentes: uno con la temperatura de 40/20°C, otro con la condición 10°C, y el resto de temperaturas en un tercer grupo.

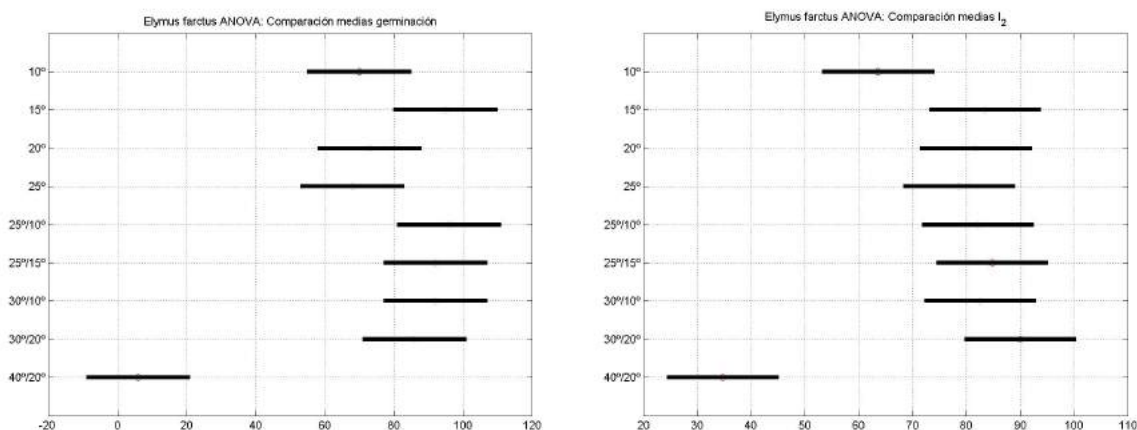


Fig. 3.16: *Elymus farctus*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

La figura 3.17 representa los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación. Indica que hay cuatro condiciones interesantes que forman un grupo: 25/10°C , 25/15°C , 30/20°C y 15°C . Otro grupo formado por la condición 30/10°C , 20°C y, un tercer grupo con el resto de condiciones. Como puede verse, los dos grupos que corresponden a los mejores resultados se encuentran en la región central de condiciones de temperatura; la comprendida entre los 10 a 20°C para temperaturas mínimas y los 15 a 30°C para las máximas.

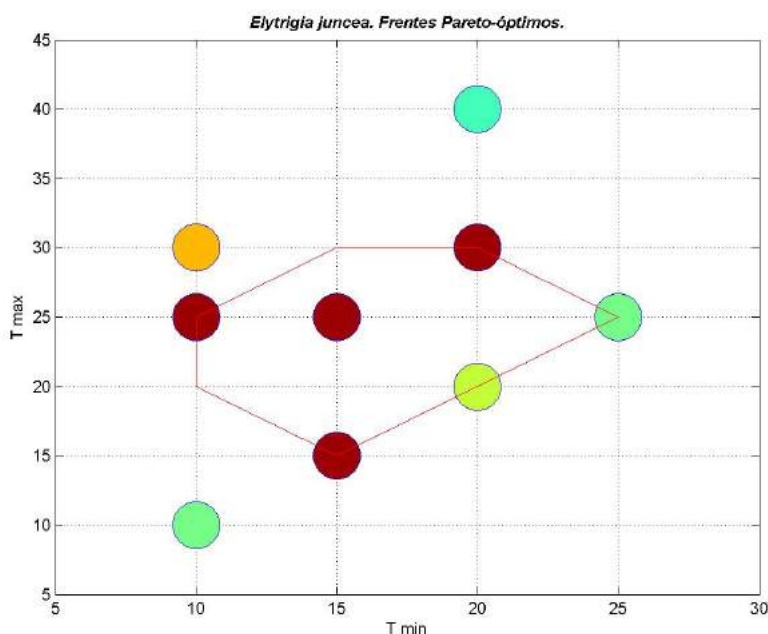


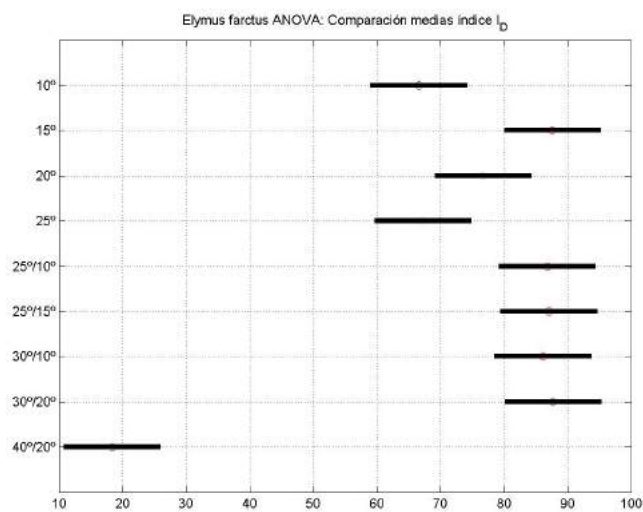
Fig. 3.17: *Elymus farctus*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

La tabla 3.18 (izq.) y la figura 3.19 muestran los resultados correspondientes al índice ponderado del porcentaje y la velocidad de germinación. Hay varios grupos significativamente diferentes. La peor condición que es para la alterna 40/20°C . Un grupo para las condiciones 10°C y 25°C . Otro con el resto de temperaturas, que son mayoritariamente alternas a excepción de 20°C , que es la peor condición en este último grupo. Como se ve, son resultados acordes con los obtenidos mediante el análisis de Pareto.

El análisis ANOVA correspondiente al índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, véase la figura 3.18 (der.), indica que hay un grupo con los peores resultados, correspondiente a la condición 40/20°C , un segundo grupo con las

<i>Elymus farctus</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	66.57	2.31
15°	87.58	0.95
20°	76.67	5.74
25°	67.21	8.18
25°/10°	86.76	0.79
25°/15°	87.06	2.81
30°/10°	86.12	1.79
30°/20°	87.69	2.51
40°/20°	18.36	12.27

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.18: *Elymus farctus*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

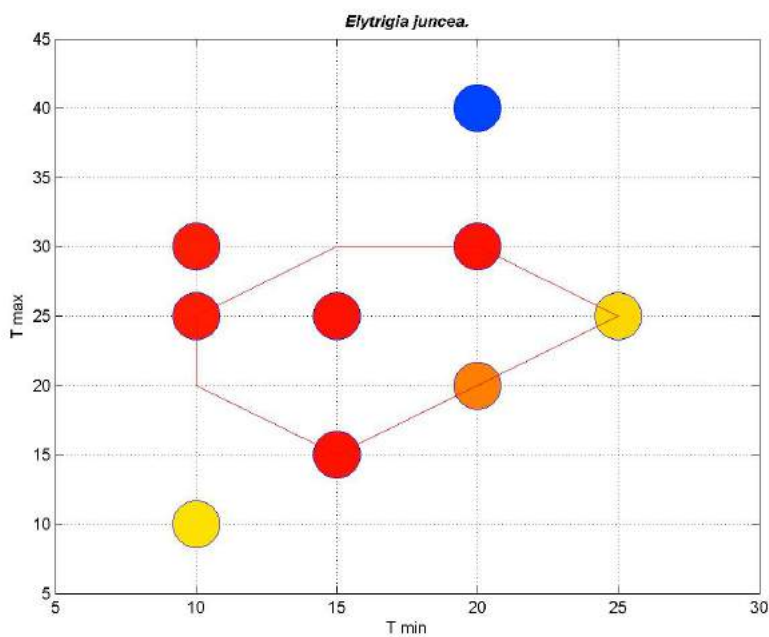


Fig. 3.19: *Elymus farctus*. Representación gráfica de I_D .

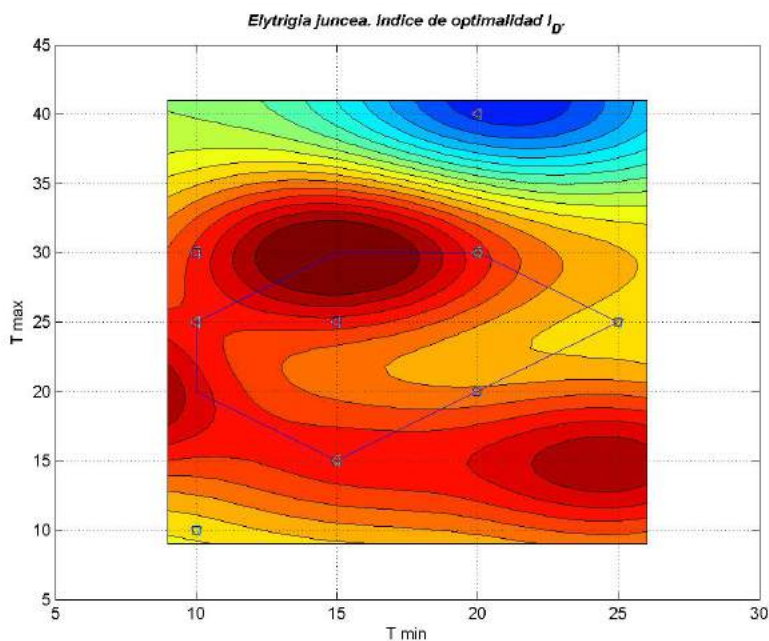


Fig. 3.20: *Elymus farctus*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

condiciones 10°C y 25°C , y un tercer grupo con el resto, salvo 20°C . La condición 20°C se encuentra entre estos dos últimos grupos.

Cuando se representan estos resultados en un figura de curvas de nivel (véase la figura 3.20) se puede plantear la hipótesis razonable de que quizá la temperatura idónea es la de $30/15^{\circ}\text{C}$, es decir, una máxima entre $25-30^{\circ}\text{C}$ y una mínima fresca de 15°C . En resumen, y como ya se ha indicado antes, las condiciones óptimas para esta especie corresponden a la región central de condiciones de temperatura; la comprendida entre los 10 a 20°C para temperaturas mínimas y los 15 a 30°C para las máximas.

Por último, en la gráfica 3.21 se representa la inversa de I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.86°C . El valor de S , el tiempo térmico o constante termal, es 46.76°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes va subiendo hasta un máximo en 15°C y luego a los 20°C decae.

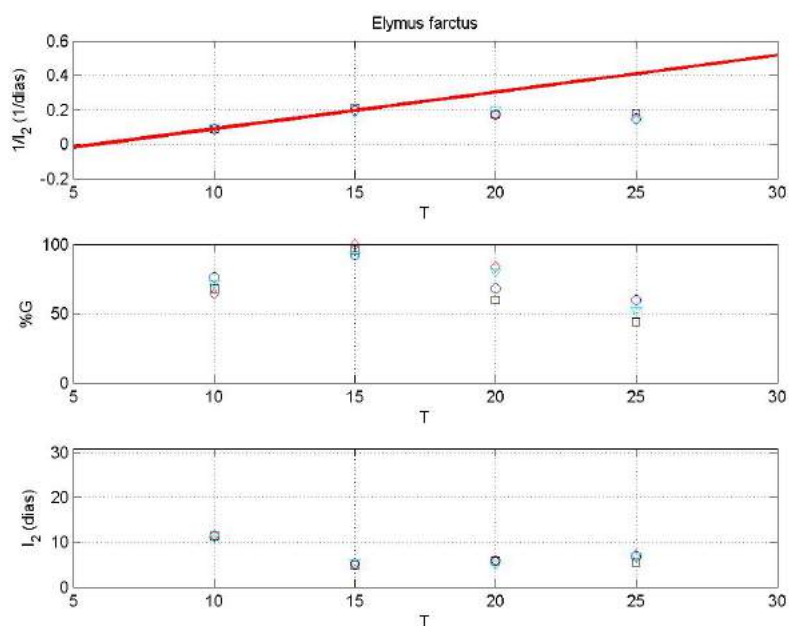


Fig. 3.21: *Elymus farctus*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

3.2.4. *Calystegia soldanella* R.Br.

En la representación de la evolución temporal del porcentaje de germinación, figura 3.22 (arr.), todas las condiciones de temperatura siguen la misma pauta a excepción de la condición 10°C , que comienza a germinar pasados los diez primeros días del ensayo, alcanzando al final el máximo de germinación a esa temperatura que coincide a grandes rasgos con el porcentaje alcanzado en el resto.

En la figura 3.22 (baj.) se muestra el porcentaje de germinación *vs.* velocidad de germinación (I_2). Se observa que hay dos grupos claramente diferenciados de resultados. Uno correspondiente a los 10°C con un 91 % de germinación y un índice de velocidad de germinación cercano a 40, y el resto de condiciones, con una media de germinación entre el 80 % y el 100 % y un índice de velocidad de germinación entre el 70-85.

La tabla 3.4 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.22 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de los datos de las medias de porcentaje de germinación, véase la figura 3.23 (der.), no muestra ningún grupo significativamente diferente.

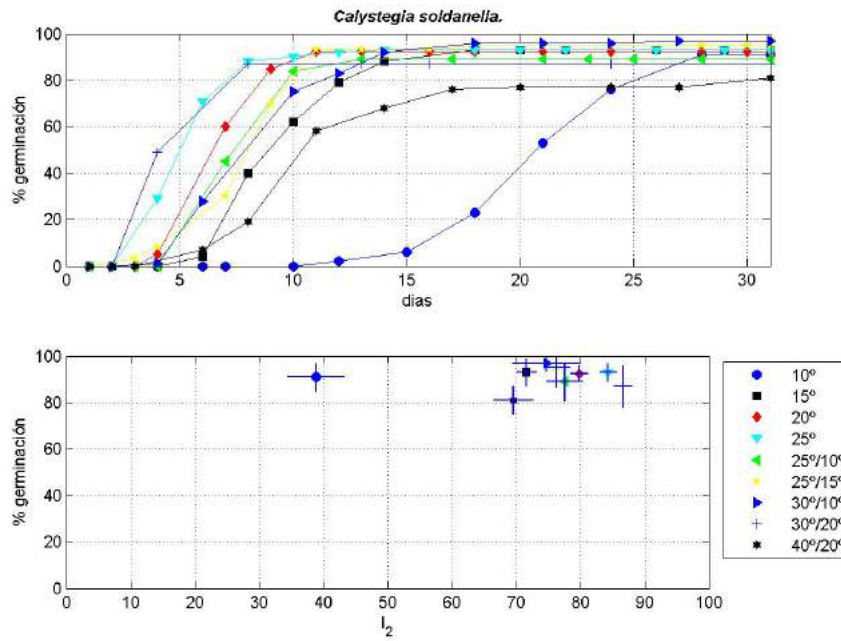


Fig. 3.22: *Calystegia soldanella*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

<i>Calystegia soldanella</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	91.00	6.0	38.84	4.45	0	0
15°	93.00	6.0	71.63	1.50	0	0
20°	92.50	3.54	79.84	1.32	2	2
25°	93.00	3.83	84.32	1.32	0	0
25°/10°	89.00	8.25	77.57	2.75	0	0
25°/15°	95.00	8.66	76.33	2.08	2	2
30°/10°	97.00	3.83	74.73	5.27	0	0
30°/20°	87.00	8.87	86.67	1.39	1	0
40°/20°	81.00	6.00	69.61	3.08	0	0

Tabla 3.4: *Calystegia soldanella*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

El análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, véase la figura 3.23 (izq.), muestra dos grandes grupos, uno para los 10°C y otro para el resto, destacando quizá, los $30/20^{\circ}\text{C}$. Las peores condiciones son para 15°C constantes y, especialmente, la alterna $40/20^{\circ}\text{C}$, pero sin grandes diferencias respecto al resto de condiciones.

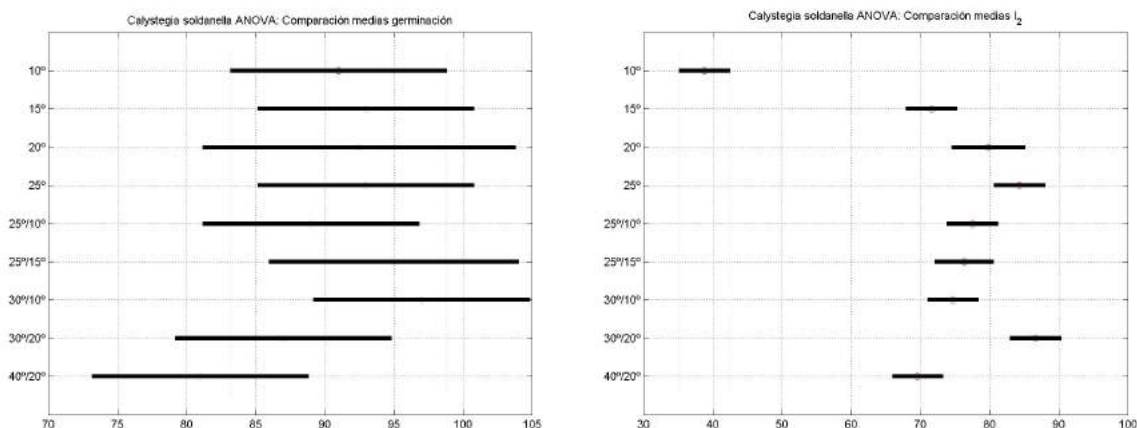


Fig. 3.23: *Calystegia soldanella*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

La figura 3.24 que muestra los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y velocidad de germinación indica que hay cuatro condiciones que se pueden dar como las mejores: $30/10^{\circ}\text{C}$, $25/15^{\circ}\text{C}$, $30/20^{\circ}\text{C}$ y 25°C . Las condiciones de 15°C y 20°C forman un segundo grupo con resultados ligeramente inferiores. El tercer grupo lo forman las condiciones 10°C y $25/10^{\circ}\text{C}$. Por último la peor condición corresponde al valor $40/20^{\circ}\text{C}$. En la figura 3.24 se intuye una tendencia hacia la preferencia por temperaturas medias altas.

Cuando se representan los valores del índice ponderado del porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.25 (izq.) y figura 3.26, se puede ver que hay una amplia zona en la cual encontrar buenas condiciones, siendo las mejores $30/20^{\circ}\text{C}$, 25°C y 20°C . La peor condición es para 10°C .

El análisis ANOVA del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, véase la figura 3.25 (der.), muestra también dos grupos significativamente diferentes. Por un lado los 10°C y por otro el resto, donde sobresalen los 25°C y $30/20^{\circ}\text{C}$ como mejores condiciones, siendo los peores resultados de germinación los obtenidos para la condición $40/20^{\circ}\text{C}$.

La representación en una figura de curvas de nivel indica que hay una gran amplitud de condiciones óptimas para alcanzar valores altos de porcentaje y velocidad

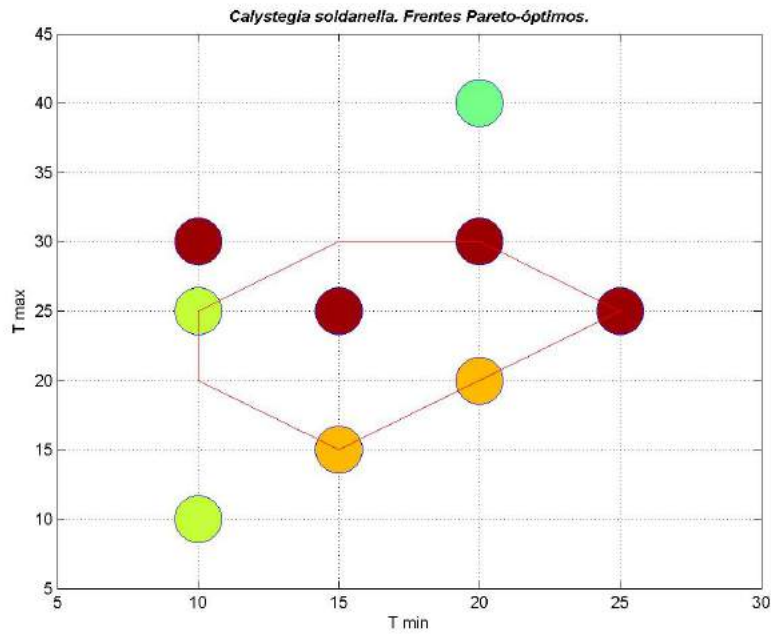
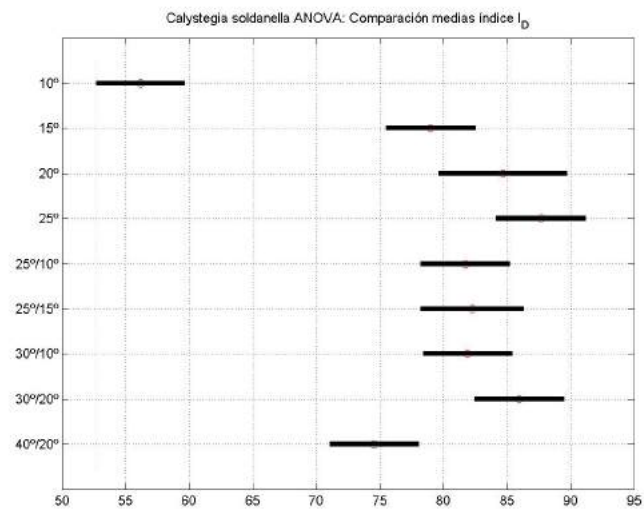


Fig. 3.24: *Calystegia soldanella*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Calystegia soldanella

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	56.16	3.15
15°	79.00	0.58
20°	84.67	0.01
25°	87.66	1.10
25°/10°	81.71	2.45
25°/15°	82.25	2.41
30°/10°	81.90	3.46
30°/20°	85.96	2.55
40°/20°	74.55	3.44

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.25: *Calystegia soldanella*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

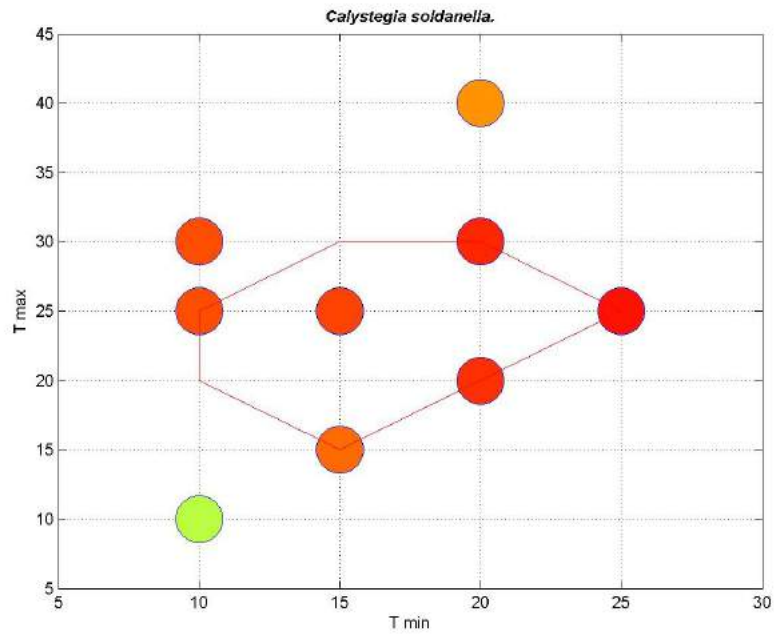


Fig. 3.26: *Calystegia soldanella*. Representación gráfica de I_D .

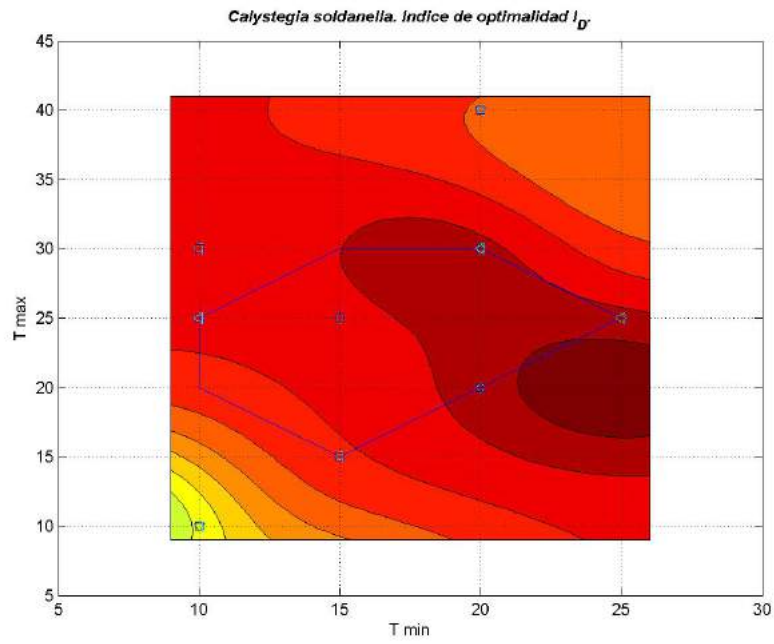


Fig. 3.27: *Calystegia soldanella*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

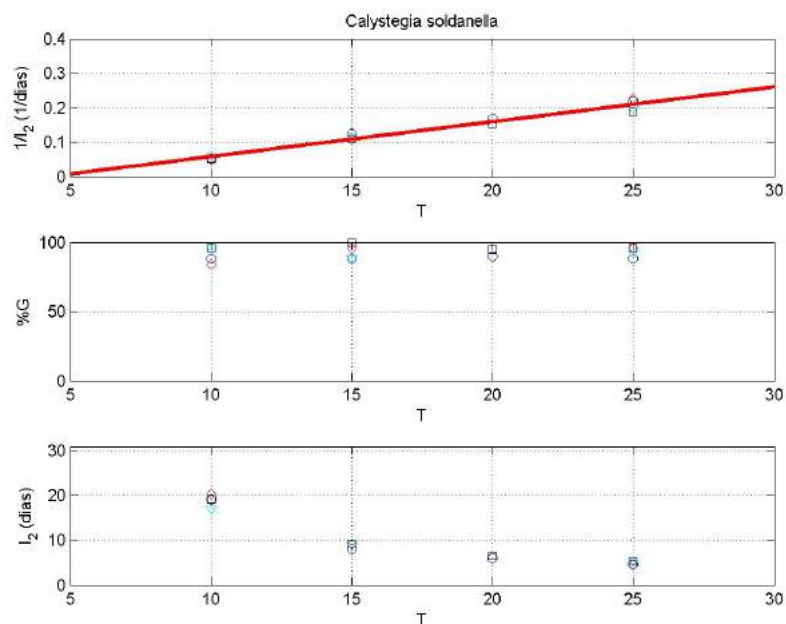


Fig. 3.28: *Calystegia soldanella*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

de germinación. Básicamente, esta especie sólo presenta malos resultados de germinación a muy bajas temperaturas y, aunque menos, a muy altas. Es decir, en las condiciones más extremas. Es resaltable observar que esos malos resultados no implican un porcentaje de germinación claramente peor, sino una velocidad de germinación menor.

Por último, en la gráfica 3.28 se representa la inversa de I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 4.36°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 98.58°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes se mantiene casi con los mismos valores en las cuatro condiciones de temperatura constante. La pendiente del I_2 y el valor del I_2 tienen valores altos.

3.2.5. *Medicago marina* L.

Cuando se representa la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación, figura 3.29 (arr.), se aprecia como todas las temperaturas dan un valor de 100% de germinación casi en los cinco primeros días (a excepción de $30/10^\circ\text{C}$ que alcanza el

máximo pasados los diez días) y que la condición 40/20°C llega al final del ensayo con un 20 % de germinación aproximadamente.

En la representación del porcentaje de germinación *vs.* la velocidad de germinación (I_2), figura 3.29 (baj.), se observa que la especie responde de manera óptima prácticamente todos los rangos de temperatura estudiados. Todas las condiciones alcanzan casi el 100 % de germinación con una velocidad de germinación entorno al 85-95, a excepción de la condición 40/20°C que no alcanza ni el 20 % de germinación, y lo hace con un índice de velocidad de germinación cercano a 60 y con una alta dispersión de los datos.

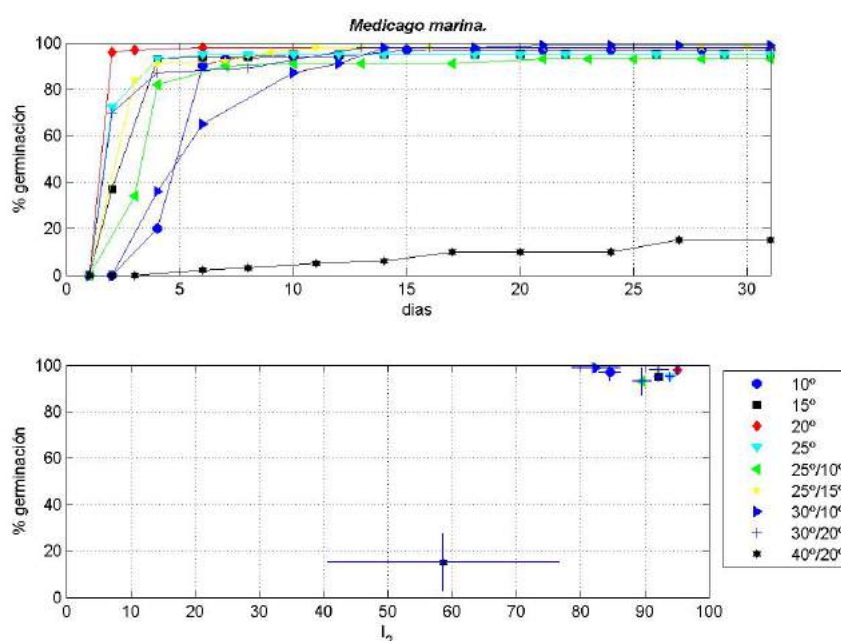


Fig. 3.29: *Medicago marina*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.5 se recopilan los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.29 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de las medias de porcentaje de germinación, figura 3.30 (der.), muestra dos grupos claramente diferentes, uno de los 40/20°C y otro del resto. Lo mismo ocurre con el análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, figura 3.30 (izq.). En ambos casos la dispersión de los datos es muy pequeña.

Los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación mostrados en la figura 3.31 reflejan que hay cuatro condiciones igual de buenas, que son

<i>Medicago marina</i>						
Temperatura	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(I_2)	N(G)
10°	97.00	3.83	84.60	1.71	0	0
15°	95.00	2.00	92.13	0.63	1	0
20°	98.00	2.31	95.08	0.24	0	1
25°	95.00	2.00	93.97	0.73	1	1
25°/10°	93.00	6.00	89.57	1.38	1	0
25°/15°	98.00	2.31	92.18	0.47	0	0
30°/10°	99.00	2.00	82.45	3.79	1	0
30°/20°	98.00	4.00	92.22	1.46	1	0
40°/20°	15.00	12.38	58.69	17.99	0	0

Tabla 3.5: *Medicago marina*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

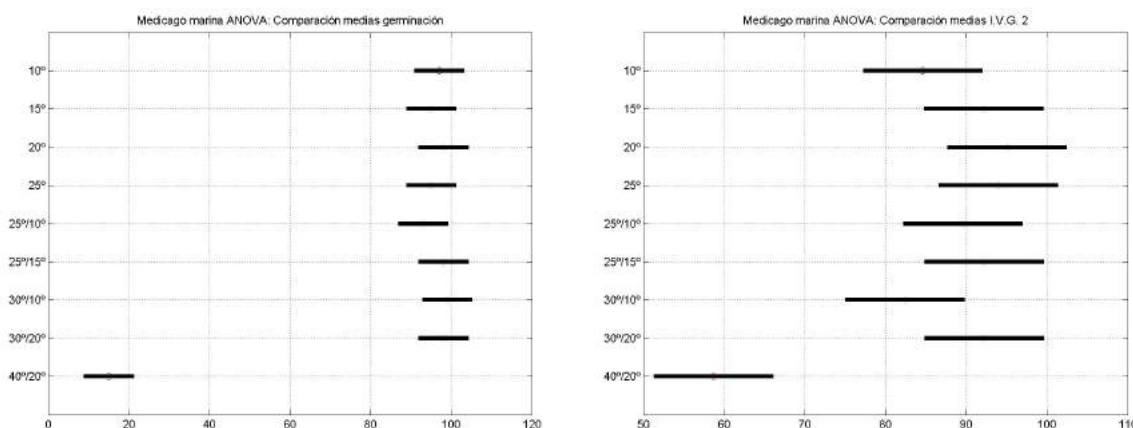


Fig. 3.30: *Medicago marina*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

30/10°C , 25/15°C , 30/20°C y 20°C . El grupo con resultados intermedios está formado por las condiciones 10°C , 15°C y 25°C . Con los peores resultados hay dos condiciones: 25/10°C y 40/20°C . Las diferencias entre los grupos, salvo en el caso de la condición 40/20°C son debidas principalmente a ligeras diferencias de velocidad de germinación, más que a diferencias en el porcentaje de germinación. En cualquier caso, es importante resaltar de nuevo que, en realidad, se trata de diferencias muy pequeñas, salvo el caso 40/20°C .

En la tabla 3.32 (izq.) y en la gráfica 3.33 se muestran los resultados correspondientes al índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Se ve que realmente la única condición desfavorable para que germine esta especie es 40/20°C .

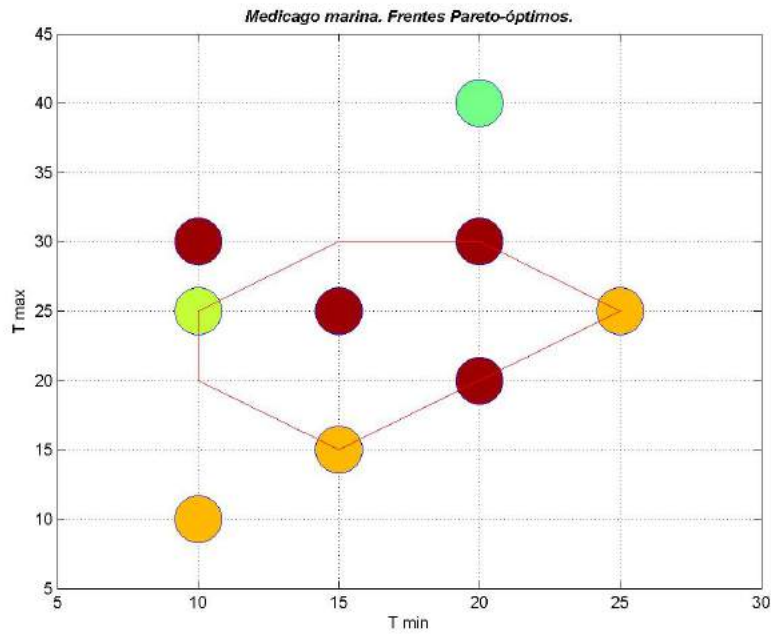
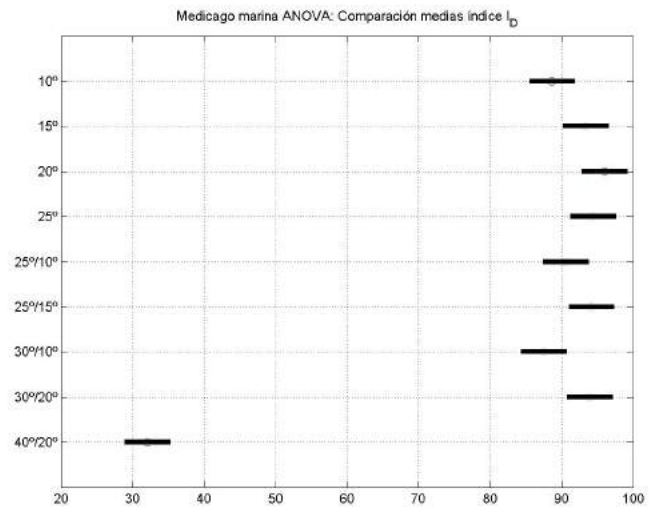


Fig. 3.31: *Medicago marina*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

<i>Medicago marina</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	88.66	1.00
15°	93.33	0.81
20°	96.02	0.59
25°	94.37	0.81
25°/10°	90.57	2.03
25°/15°	94.15	0.60
30°/10°	87.50	2.27
30°/20°	93.93	1.48
40°/20°	32.10	5.75

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.32: *Medicago marina*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

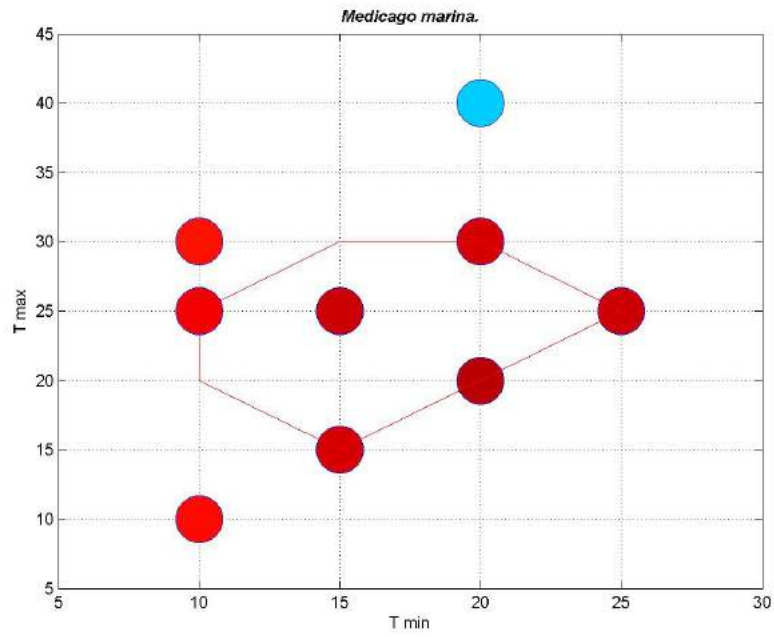


Fig. 3.33: *Medicago marina*. Representación gráfica de I_D .

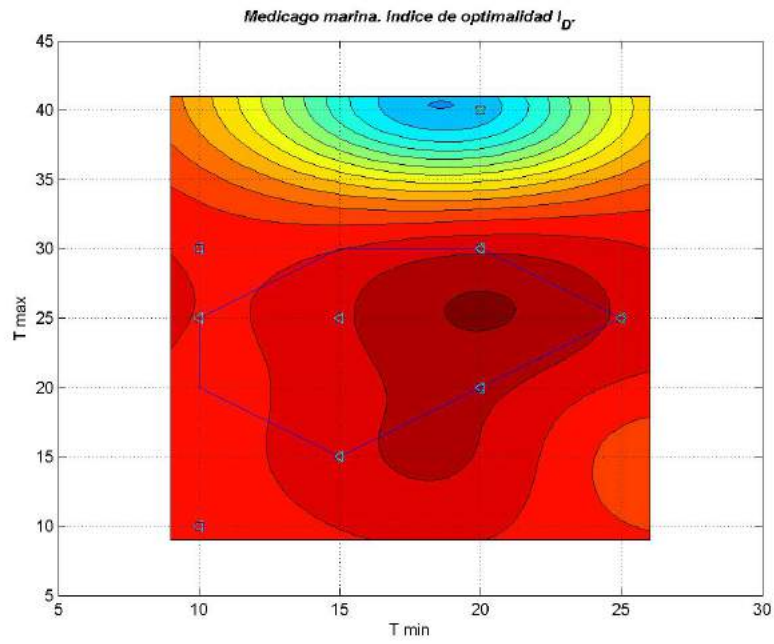


Fig. 3.34: *Medicago marina*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

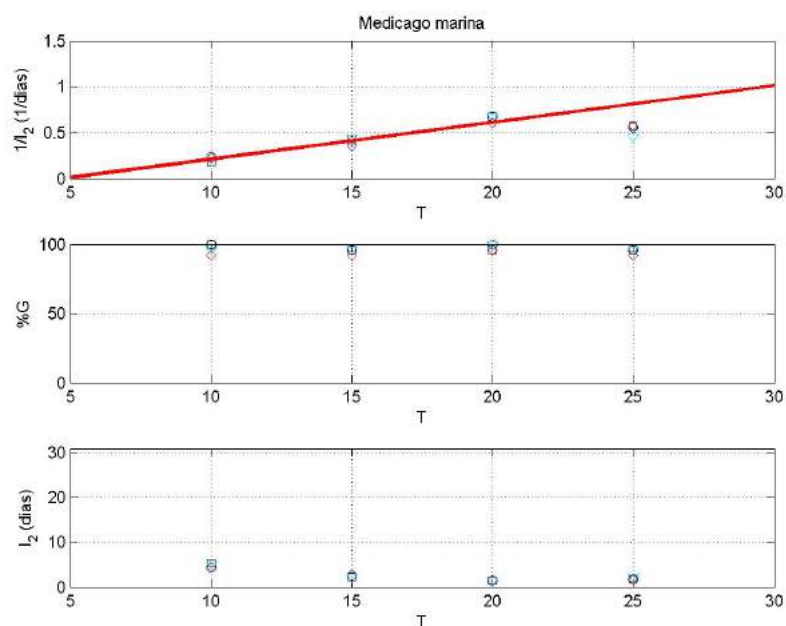


Fig. 3.35: *Medicago marina*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

La figura 3.32 (der.) muestra el análisis ANOVA correspondiente al índice ponderado del porcentaje y la velocidad de germinación. Llega a discriminar tres grupos: uno claramente demarcado para 40/20°C como condición de peor resultado, otro con 10°C , 25/10°C y 30/10°C , y un tercero con las mejores condiciones de 15°C , 20°C , 25°C , 25/15°C y 30/20°C . No obstante, entre estos dos últimos grupos no hay diferencia.

Trasladando estos datos de I_D a una representación por curvas de nivel, figura 3.34, se ve claramente este resultado, siendo en principio ligerísimamente mejores las condiciones correspondientes a alternas suaves, 25/15°C y 30/20°C , y el de 20°C , si bien estadísticamente, no se trata de diferencias representativas. En resumen, esta especie está adaptada para germinar de manera óptima bajo prácticamente cualquier condición.

En la gráfica 3.35 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.39°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 22.54°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes se mantiene casi con los mismos valores en las cuatro condiciones de temperatura constante.

3.2.6. *Lotus creticus* L.

En la representación de la evolución del porcentaje de germinación en el tiempo, figura 3.36 (arr.), se ve el mismo patrón de respuesta germinativa en todas las condiciones a excepción de 40/20°C y 10°C. En el caso de la condición 40/20°C comienza la germinación como en el resto, a los dos o tres días de empezar el ensayo y a partir de los 20 días alcanza el máximo valor. En el caso de la condición constante de 10°C, la germinación comienza a los cuatro días y el máximo también lo alcanza a los veinte días. Es decir, en ambas condiciones extremas, se ve sobre todo afectada la velocidad de germinación (más lenta), pero el porcentaje final de germinación es sólo algo menor al que se alcanza en el resto de condiciones. El resto de condiciones alcanza el 100% de germinación antes de los 3-4 días.

Esta especie parece tener una amplia tolerancia a todas las temperaturas estudiadas ya que cuando se representa el porcentaje de germinación *vs.* la velocidad de germinación, figura 3.36 (baj.), aparece un valor entre 85-100% de germinación y un índice de velocidad de germinación entre 75-95. La peor condición es la de 40/20°C con algo de dispersión en los datos del índice de velocidad de germinación.

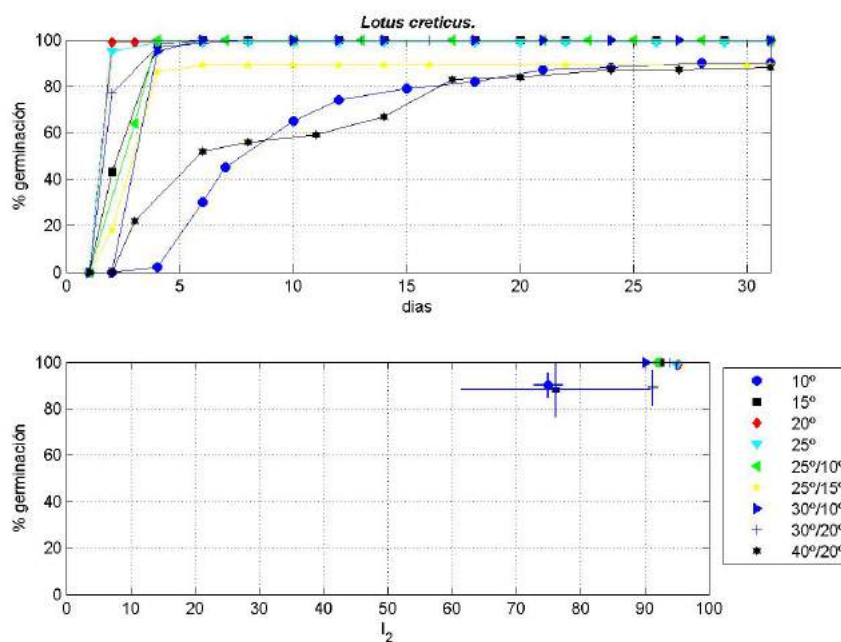


Fig. 3.36: *Lotus creticus*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.6 se muestran los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.36 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

<i>Lotus creticus</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	90.00	5.16	75.01	2.26	0	0
15°	100.00	0.00	92.42	0.80	0	0
20°	99.00	2.00	95.19	0.00	1	0
25°	99.00	2.00	95.01	0.21	1	0
25°/10°	100.00	0.00	91.94	0.91	0	0
25°/15°	89.00	7.57	91.25	0.77	0	1
30°/10°	100.00	0.00	90.14	0.36	0	0
30°/20°	100.00	0.00	93.91	0.73	0	0
40°/20°	88.00	11.78	76.18	14.68	0	0

Tabla 3.6: *Lotus creticus*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

El análisis ANOVA de comparación de las medias de germinación, figura 3.37 (der.), muestra que no hay ningún grupo diferente significativamente. El ANOVA referente al índice de velocidad de germinación, figura 3.37 (izq.), muestra dos grandes zonas, una con 10°C y 40/20°C y otra con el resto.

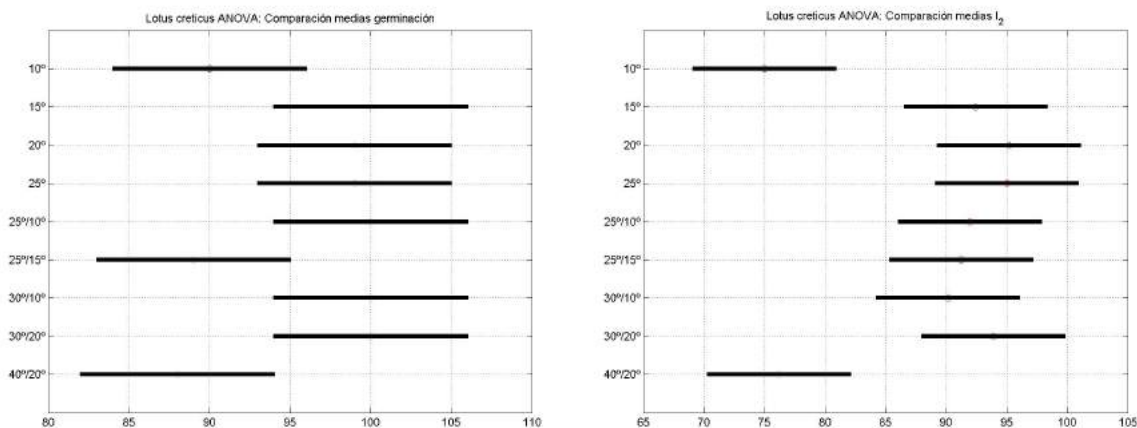


Fig. 3.37: *Lotus creticus*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

El figura que muestra el frente de conjuntos Pareto-óptimos, figura 3.38, junto con los resultados del análisis ANOVA descritos antes, indican que hay varias condiciones igual de buenas, la de $30/20^{\circ}\text{C}$, $30/10^{\circ}\text{C}$, $25/15^{\circ}\text{C}$ y 20°C . Un segundo grupo de condiciones intermedias está formado por las condiciones 10°C , 15°C y 25°C . Hay un tercer grupo con las peores condiciones formado por $25/10^{\circ}\text{C}$ y $40/20^{\circ}\text{C}$. En realidad, estadísticamente no hay diferencias significativas, por tanto solo se puede decir que hay dos casos extremos en los que las condiciones no son buenas.

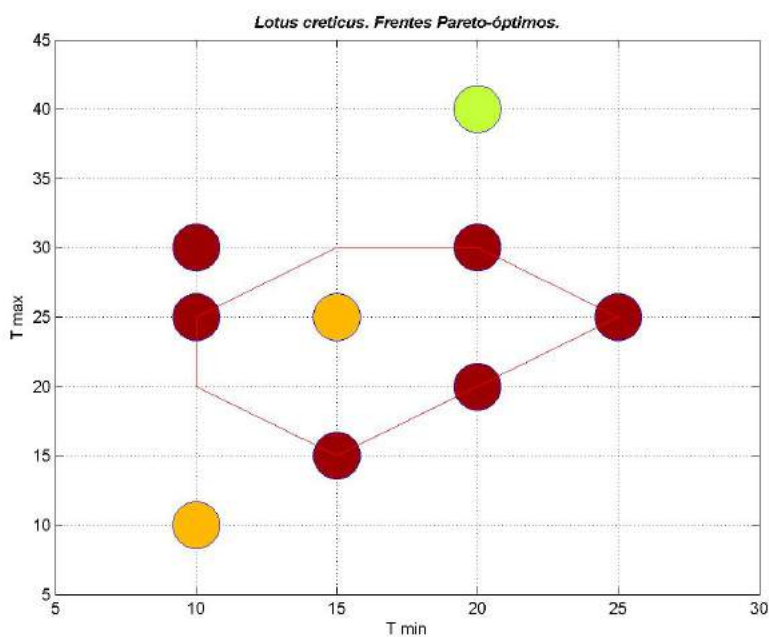


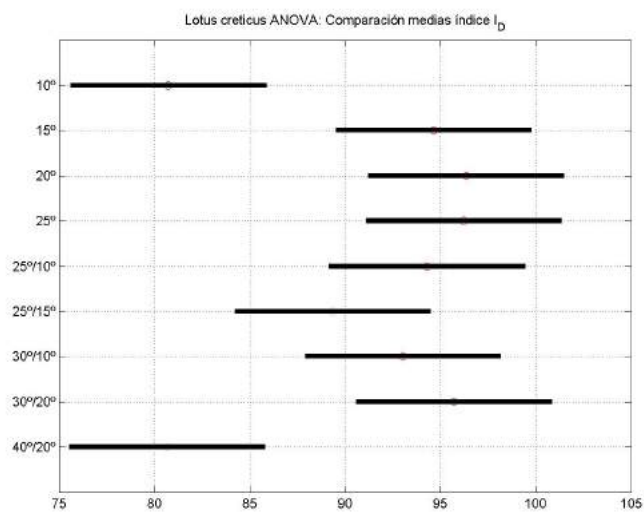
Fig. 3.38: *Lotus creticus*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Los valores correspondientes al índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.39 (izq.) y figura 3.40, muestran que prácticamente puede germinar en todas las condiciones estudiadas de temperatura, a excepción de $40/20^{\circ}\text{C}$.

Por último, el análisis 3.39 (der.) ANOVA para el índice ponderado del porcentaje de germinación y velocidad de germinación muestra que las peores condiciones son las extremas de 10°C y $40/20^{\circ}\text{C}$.

<i>Lotus creticus</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	80.73	1.74
15°	94.64	0.49
20°	96.34	0.44
25°	96.21	0.34
25°/10°	94.30	0.56
25°/15°	89.35	2.67
30°/10°	93.03	0.22
30°/20°	95.69	2.45
40°/20°	80.65	10.68

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.39: *Lotus creticus*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

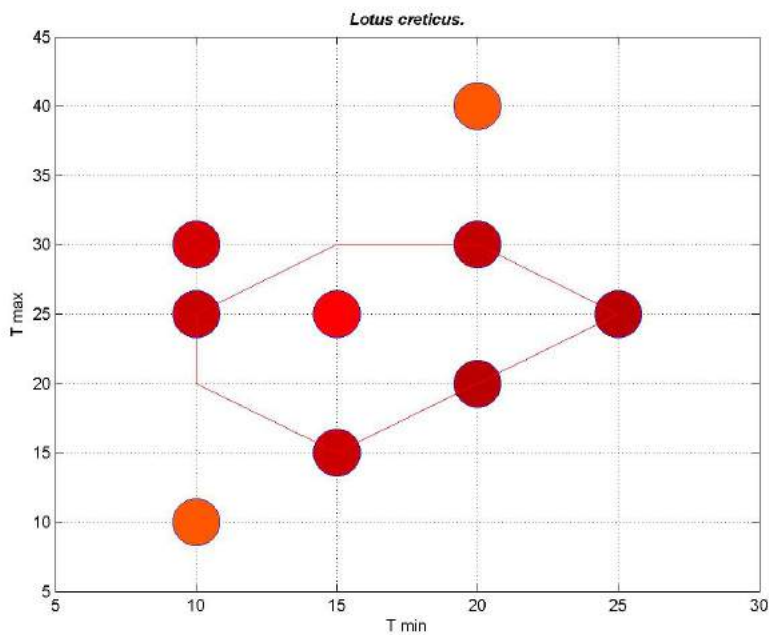


Fig. 3.40: *Lotus creticus*. Representación gráfica de I_D .

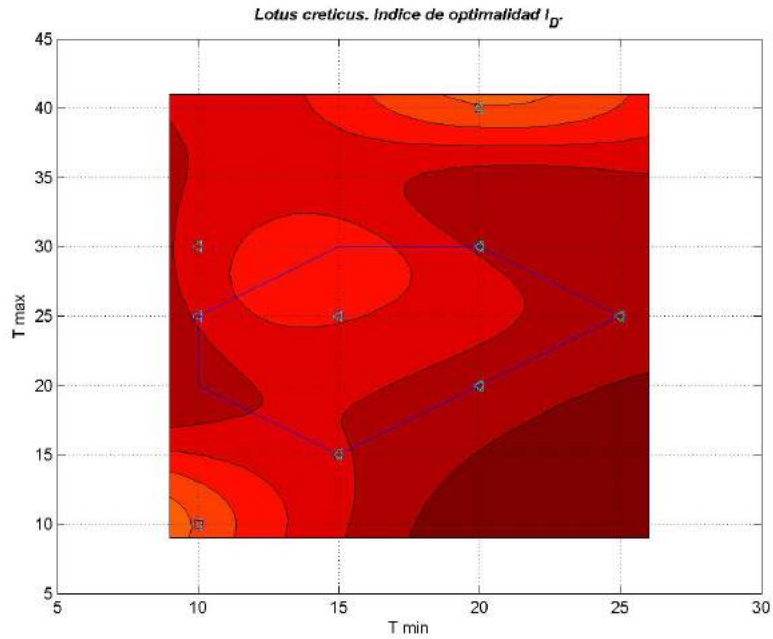


Fig. 3.41: *Lotus creticus*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

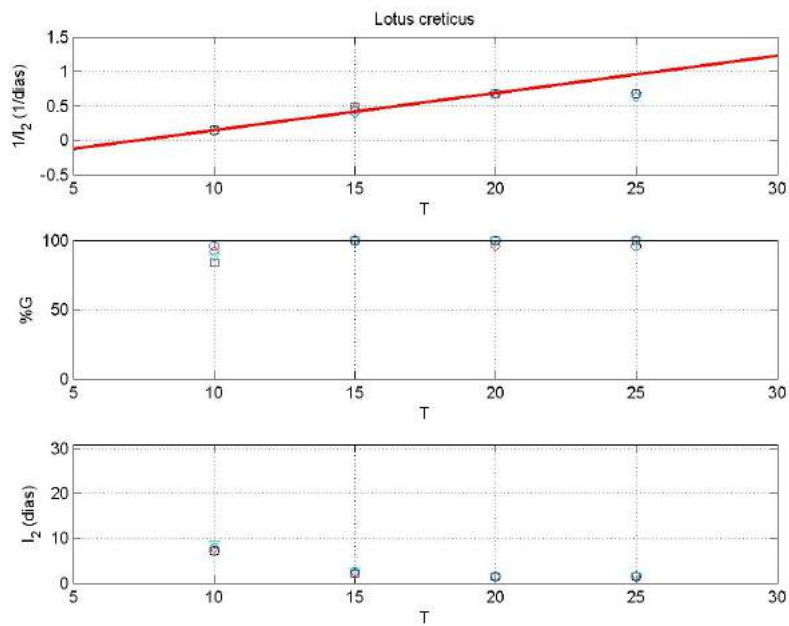


Fig. 3.42: *Lotus creticus*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

Cuando estos valores son interpolados y se representan en una figura de curvas de nivel, figura 3.41, se ve que todo son colores cálidos o muy cálidos. Los resultados son muy iguales y, por tanto, teniendo en cuenta la dispersión estadística, no se pueden hacer distinciones. A $40/20^{\circ}\text{C}$ y 10°C , la planta va peor fundamentalmente porque el porcentaje de germinación baja un poco y la velocidad de germinación lo hace en mayor proporción.

En la gráfica 3.42 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 7.42°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 18.50°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes se mantiene casi con los mismos valores en las cuatro condiciones de temperatura constante. La pendiente del I_2 tiene un valor alto y los valores del I_2 son bajos.

3.2.7. *Crucianella maritima* L.

Cuando se representa la evolución en el tiempo de la media de germinación, figura 3.43 (arr.), se observa un patrón que se repite: se necesita que pasen entre 4-5 días para que comiencen a germinar las semillas y se alcanza el máximo de germinación pasados los diez días. En el caso de la temperatura 20°C se observa un patrón extraño: entre los 15 y los 20 días se dobla el porcentaje de germinación de forma súbita.

En la representación de la media de germinación vs. el índice de velocidad de germinación, I_2 , figura 3.43 (baj.), lo primero que se observa es la dispersión elevada para los datos referentes al índice de velocidad a algunas temperaturas.

La tabla 3.7 (izq.) se muestran los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.43 (der.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA que compara las medias de germinación a todas las temperaturas estudiadas, figura 3.44 (der.), indica que hay cinco grupos significativamente diferentes. De peor a mejor son: 10°C , después $30/10^{\circ}\text{C}$, $30/20^{\circ}\text{C}$, $40/20^{\circ}\text{C}$, los 25°C constantes, $25/10^{\circ}\text{C}$ y $25/15^{\circ}\text{C}$ y por último como mejores los 15°C y 20°C constantes. En cualquier caso, de forma clara, hay dos grandes grupos de condiciones: 10°C , $30/10^{\circ}\text{C}$, $30/20^{\circ}\text{C}$, $40/20^{\circ}\text{C}$ por un lado, y el resto por otro.

El análisis ANOVA que compara el índice de velocidad germinación para cada temperatura estudiada, figura 3.44 (izq.), indica una gran dispersión de los datos y no da información como para poder separar grupos significativamente diferentes.

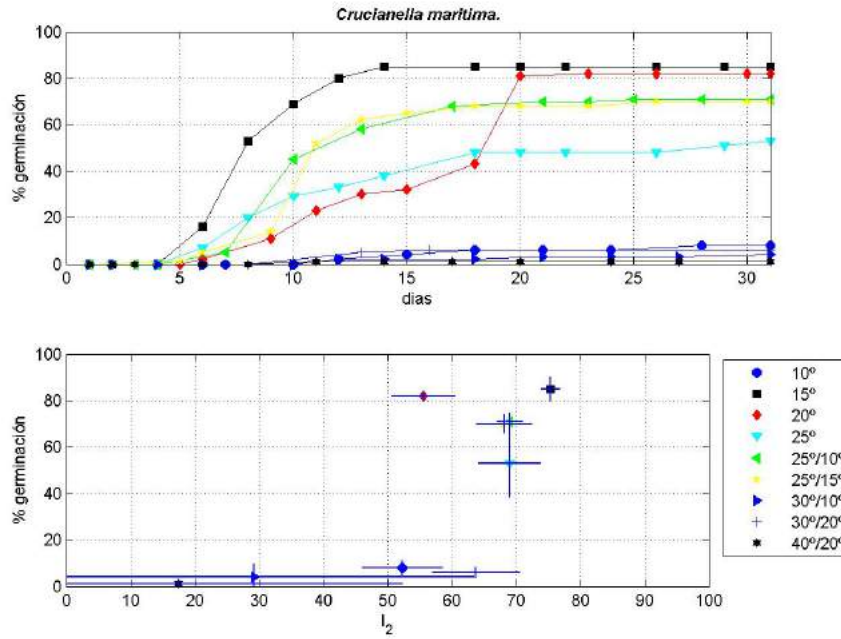


Fig. 3.43: *Crucianella maritima*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

<i>Crucianella maritima</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	8.00	3.27	52.51	6.24	0	0
15°	85.00	5.03	75.36	1.37	0	0
20°	82.00	2.31	55.59	4.98	0	0
25°	53.00	14.38	69.00	4.79	0	1
25°/10°	71.00	3.83	69.01	1.96	0	0
25°/15°	70.00	4.00	68.13	4.32	1	0
30°/10°	4.00	5.66	29.25	34.15	0	0
30°/20°	6.00	2.31	63.75	6.72	1	0
40°/20°	1.00	2.00	17.42	34.85	1	1

Tabla 3.7: *Crucianella maritima*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

Quizás se pueden separar dos grupos: uno con las peores condiciones de 30/10°C y 40/20°C , y otro con el resto que serían mejores.

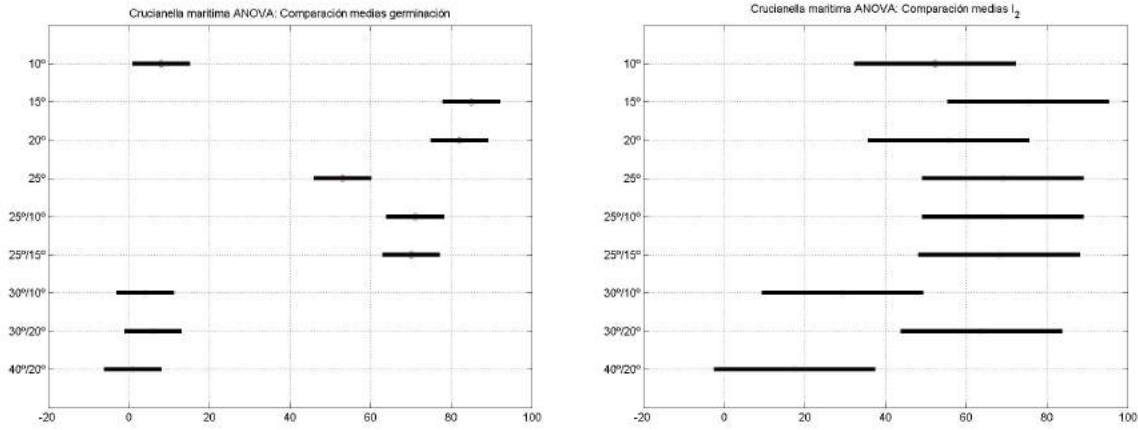


Fig. 3.44: *Crucianella maritima*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I₂ (der.).

El figura del índice Pareto-óptimos para el porcentaje y velocidad de germinación, figura 3.45, indica que la temperatura de 15°C sería la mejor opción para encontrar el máximo de velocidad y porcentaje de germinación.

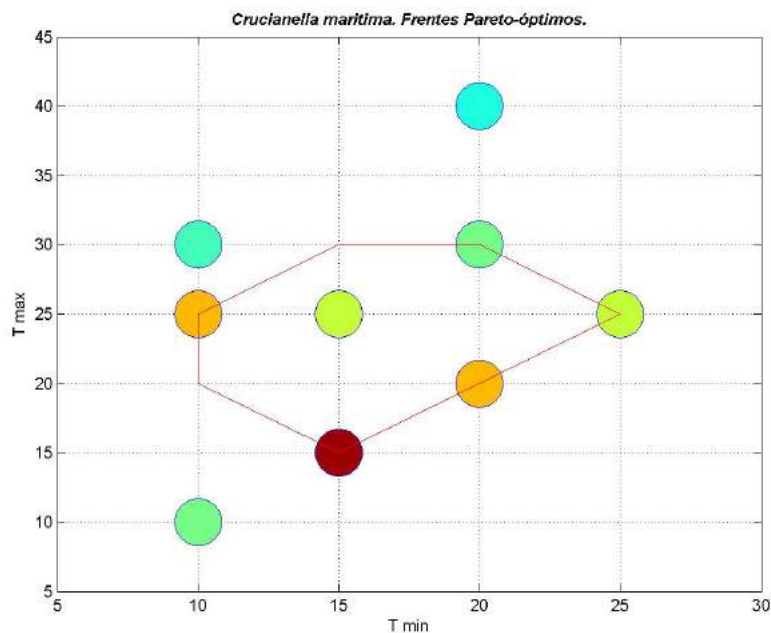
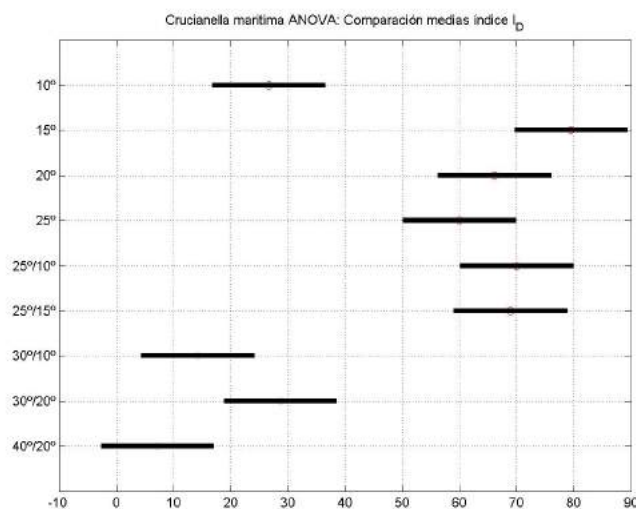


Fig. 3.45: *Crucianella maritima*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I₂.

Los valores del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, tabla 3.46 (izq.) y su representación gráfica en la figura 3.47, indican que la mejor condición es 15°C , después $25/10^{\circ}\text{C}$, $25/15^{\circ}\text{C}$ y 20°C y por último, representado en colores fríos, 10°C , $30/20^{\circ}\text{C}$, $30/10^{\circ}\text{C}$ y $40/20^{\circ}\text{C}$.

<i>Crucianella maritima</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	26.65	2.85
15°	79.47	2.19
20°	66.08	2.95
25°	59.98	8.36
$25^{\circ}/10^{\circ}$	69.94	2.09
$25^{\circ}/15^{\circ}$	68.88	1.59
$30^{\circ}/10^{\circ}$	14.22	14.24
$30^{\circ}/20^{\circ}$	28.67	2.58
$40^{\circ}/20^{\circ}$	6.20	12.48

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.46: *Crucianella maritima*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

En la representación de la interpolación de los valores del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación en un figura de curvas de nivel, figura 3.48, se puede observar que aunque la mejor temperatura estudiada es la de 15°C constantes, puede ser que temperaturas alternas de $20/10^{\circ}\text{C}$ sean las ideales por interpolación de datos. Es decir, 20°C de máxima y valores entre 10°C y 15°C de mínima. En cualquier caso, si aparece claro que esta especie requiere temperaturas máximas en la franja entre 15 y 25°C . Este aparece como el factor que afecta a los resultados más claramente. Respecto a las mínimas acepta un gran rango, con preferencia por valores bajos. Todo ello, independientemente de los valores de temperatura media y diferencia entre la máxima y la mínima, que no son factores que afecten de forma clara en esta especie. Sólo se observa una cierta afinidad por valores bajos de los mismos, en concordancia con la preferencia por temperaturas máximas y mínimas bajas.

En el análisis ANOVA, en la cual se representa el índice ponderado para el porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.46 (der.), aparecen dos

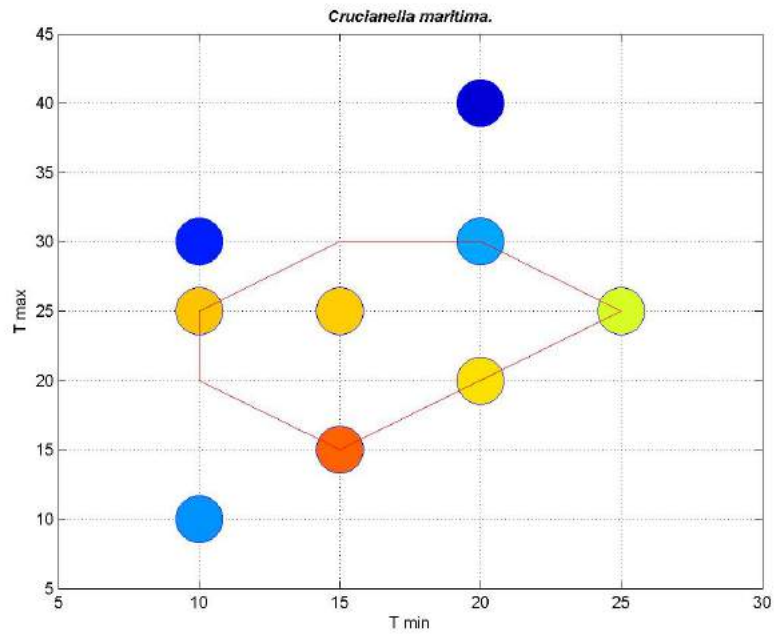


Fig. 3.47: *Crucianella maritima*. Representación gráfica de I_D .

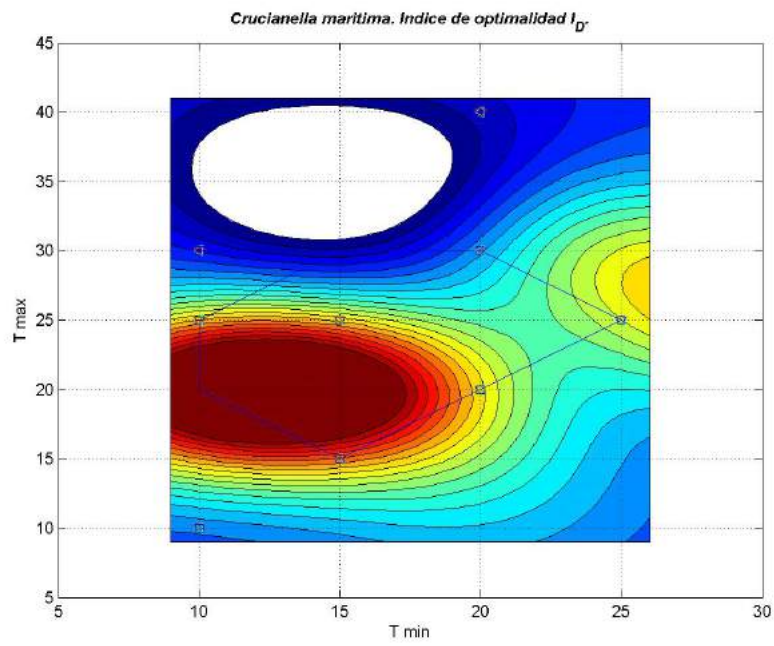


Fig. 3.48: *Crucianella maritima*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

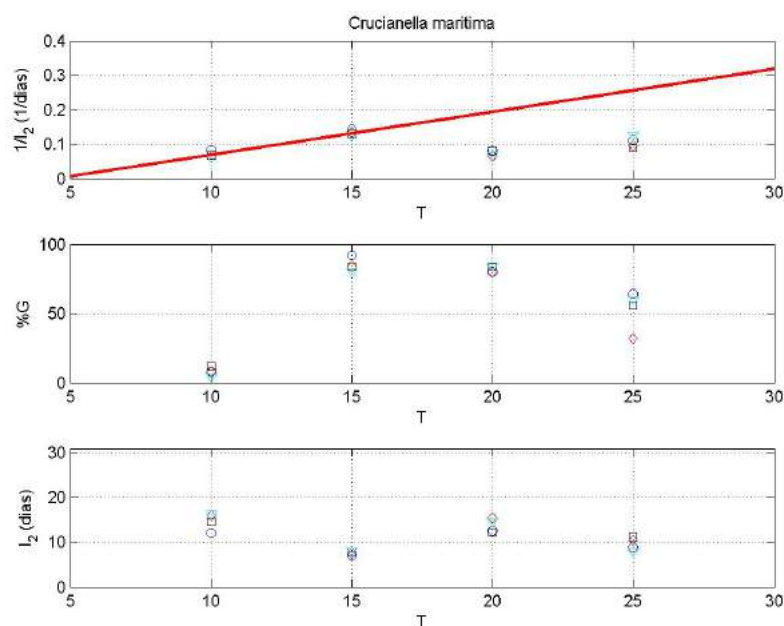


Fig. 3.49: *Crucianella maritima*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

grupos claramente diferentes: uno con las condiciones 10°C , 30/10°C , 30/20°C y 40/20°C , y el otro con el resto de temperaturas. En definitiva, este resultado es análogo al observado en el análisis ANOVA de porcentaje de germinación. Es el porcentaje de germinación, y no la velocidad de germinación quien determina las diferencias en esta especie. La velocidad de germinación, como ya se ha visto antes, sólo es claramente diferente en los casos extremos correspondientes a 10°C y 40/20°C , para los cuales también es menor el porcentaje de germinación.

En la gráfica 3.49 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 4.53°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 79.83°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes sube hasta encontrar un óptimo a 15°C y luego decae. La pendiente del I_2 y el I_2 presentan valores altos.

3.2.8. *Malcolmia littorea* (L.) R. Br.

En la figura 3.50 (arr.) se puede ver la evolución en el tiempo de la media de germinación. El patrón de germinación es muy similar en todas las temperaturas a excepción de los 10°C , en el cual hay un retardo de casi cinco días. Para la

temperatura alterna de 40/20°C , el patrón es el general con un valor de 28 % de germinación en comparación con el resto, que alcanza valores entre el 77-96 %.

La figura 3.50 (baj.) representa el porcentaje de germinación *vs.* el índice de velocidad de germinación, I_2 . Da una visión global de cómo esta especie puede germinar en prácticamente todas las temperaturas estudiadas en un porcentaje cercano al 80-100 % y a una velocidad de germinación con valores en torno a 90 sobre 100 (que sería la máxima), a excepción de 40/20°C . En este caso la velocidad es la misma que en el resto de temperaturas pero el porcentaje es mucho menor; aproximadamente del 30 %. En todas las condiciones estudiadas hay muy poca dispersión.

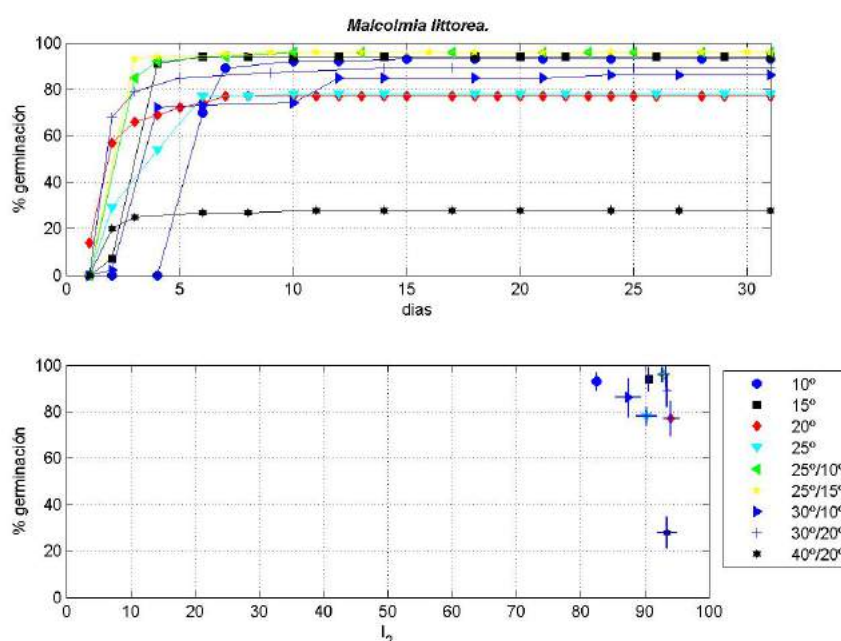


Fig. 3.50: *Malcolmia littorea*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.8 se muestran los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.50 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de las medias de germinación, figura 3.51 (der.), muestra tres grupos con diferencias significativas. El mejor grupo que incluye, tanto temperaturas constantes como 10°C y 15°C y alternas con diferencias de 10°C a 15°C como 25/10°C , 25/15°C , 30/10°C y 30/20°C . En todos estos grupos la germinación es cercana al 90-100 %. El peor grupo corresponde a la alterna 40/20°C , donde el porcentaje de germinación no llega al 30 %. Hay también un grupo intermedio que

Malcolmia littorea

Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	93.00	3.83	82.49	0.79	0	0
15°	94.00	5.16	90.63	0.31	0	0
20°	77.00	7.57	94.10	1.27	0	0
25°	78.00	4.00	90.26	1.61	1	0
25°/10°	96.00	3.27	92.76	0.66	0	0
25°/15°	96.00	5.66	93.32	0.55	0	0
30°/10°	86.00	8.33	87.45	1.92	0	0
30°/20°	89.00	6.83	93.49	0.30	0	0
40°/20°	28.00	6.53	93.49	1.51	0	0

Tabla 3.8: *Malcolmia littorea*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

incluye los 20°C y los 25°C constantes, donde el porcentaje de germinación ronda el 80 %.

El análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, figura 3.51 (izq.), muestra cuatro grupos significativamente diferentes. Uno para 10°C , otro para 30/10°C , otro para 15°C y 25°C , y por ultimo otro para el resto de temperaturas. Es interesante observar que todas estas condiciones para las que la velocidad de germinación es más baja respecto a la del grupo de las mejores, corresponden a las temperaturas que se alejan más de la región entorno a los 25/15°C .

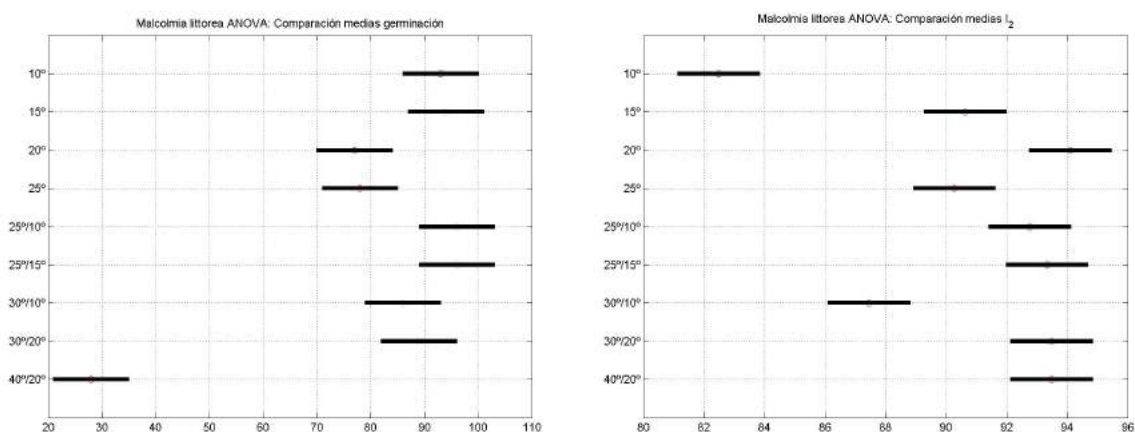


Fig. 3.51: *Malcolmia littorea*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

El figura para el índice Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación, figura 3.52, indica que existen cuatro condiciones buenas: 25/10°C , 25/15°C , 30/20°C y 20°C . Un segundo grupo incluye las condiciones 40/20°C y 15°C . Por último el peor grupo lo integran las condiciones 30/10°C y 10°C . En definitiva, desde el punto de vista del análisis de Pareto, las mejores condiciones son las que están entorno a los 25/15°C .

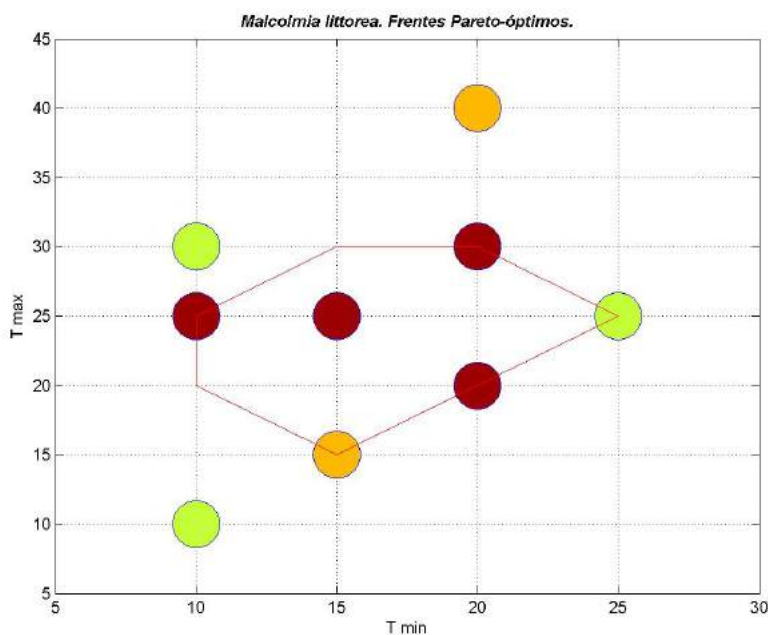


Fig. 3.52: *Malcolmia littorea*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Los valores del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, tabla 3.53 (izq.) y figura 3.54, indica que sólo la condición de la temperatura alterna 40/20°C se puede considerar no óptima. El resto de condiciones son óptimas para la germinación de esta especie.

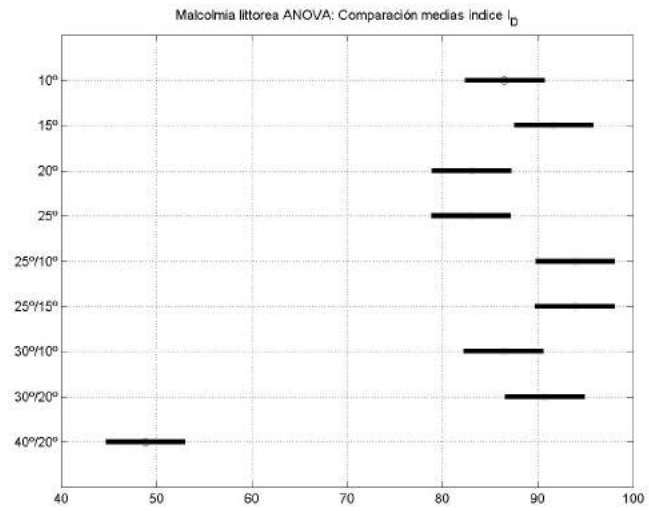
El análisis ANOVA del índice ponderado de porcentaje de germinación y la velocidad de germinación, figura 3.53 (der.), muestra dos grupos significativamente diferentes: uno en el que está la alterna 40/20°C y otro con el resto de los valores.

Por último, en la representación de los valore interpolados para el índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación por curvas de nivel, tabla 3.53 y figura 3.55, se puede observar que el óptimo de porcentaje y velocidad de germinación se centra la región correspondiente a temperaturas mínimas entre 10 y 15°C , y temperaturas máximas comprendidas entre 15 y 25°C .

Malcolmia littorea

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	86.51	1.29
15°	91.65	1.52
20°	83.03	4.15
25°	82.98	2.59
25°/10°	93.91	1.14
25°/15°	93.90	2.29
30°/10°	86.40	4.39
30°/20°	90.71	3.61
40°/20°	48.87	3.93

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.53: *Malcolmia littorea*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

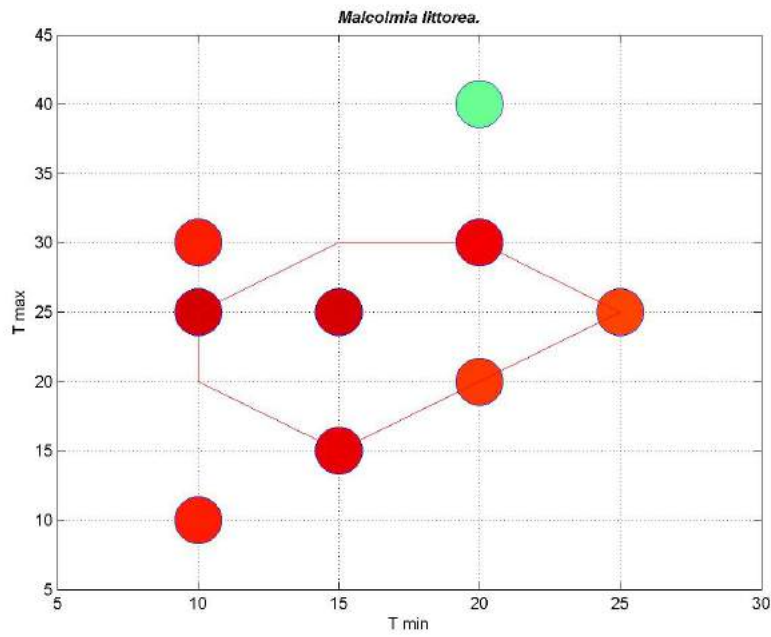


Fig. 3.54: *Malcolmia littorea*. Representación gráfica de I_D .

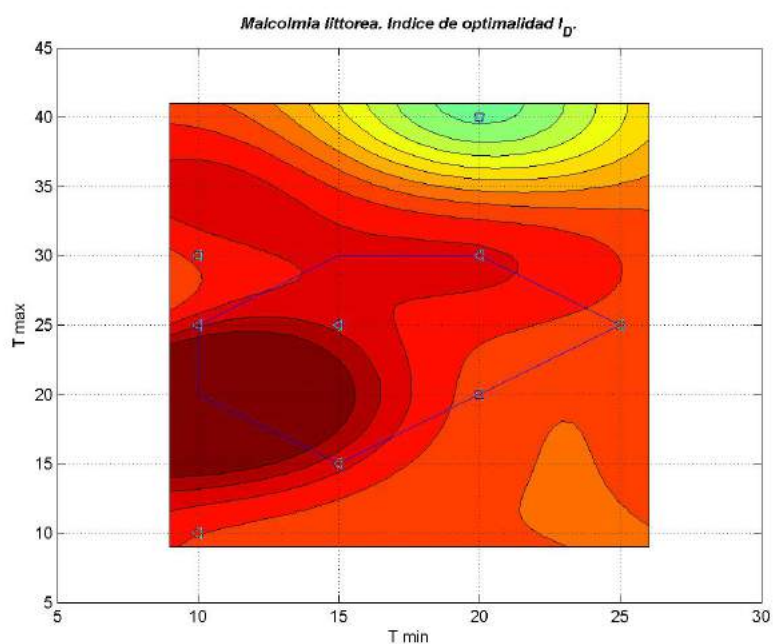


Fig. 3.55: *Malcolmia littorea*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

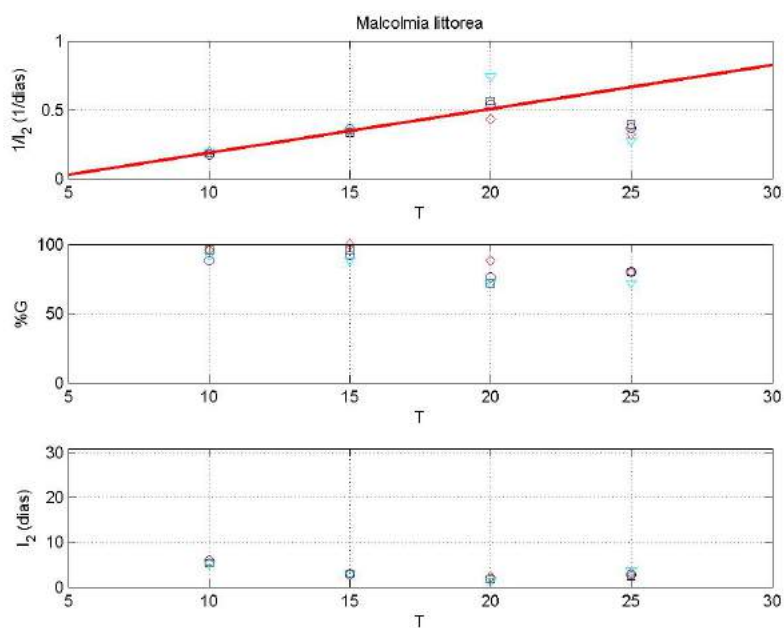


Fig. 3.56: *Malcolmia littorea*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

Se observa una cierta tendencia a obtener mejores resultados cuando la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima está entorno a los 10°C . En cualquier caso, la especie germina con muy buenos resultados en prácticamente todas las condiciones, con la excepción de la condición extrema correspondiente a $40/20^{\circ}\text{C}$.

En la gráfica 3.56 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 4.23°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 31.36°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes sube hasta encontrar un óptimo a 15°C y pero luego decae. La pendiente del I_2 y el valor del I_2 presentan un valor bajo.

3.2.9. *Pancratium maritimum* L.

En la representación del porcentaje de germinación en la evolución del tiempo, figura 3.57 (arr.), se observa el mismo patrón de comportamiento en todas las condiciones; todas las temperaturas necesitan como mínimo 4-5 días para que comience la germinación. Pasado este tiempo de latencia, las mejores condiciones en cuanto a porcentaje de germinación, $30/20^{\circ}\text{C}$ y $25/10^{\circ}\text{C}$, alcanzan el máximo valor a los 20 días de la siembra. El resto de condiciones, a excepción de 10°C , comienza a germinar pasados unos diez días desde la siembra. Dentro de este grupo de condiciones se llega a alcanzar un porcentaje de germinación entre el 80-100 %, salvo $40/20^{\circ}\text{C}$ que se queda en un 25 % aproximadamente.

Cuando se representan los resultados del porcentaje de germinación vs. el índice de velocidad de germinación I_2 , figura 3.57 (baj.), hay tres grupos de resultados. El peor que es el de 10°C , donde no hay germinación. El intermedio, correspondiente a $40/20^{\circ}\text{C}$ con un 25 % de germinación y un 55 de velocidad de germinación. El resto de condiciones presenta unos porcentajes de germinación cercanos al 100 % en la mayoría de los casos y una velocidad de germinación alrededor de 45-70. En este grupo se puede exceptuar la condición de 15°C que se queda con un valor de porcentaje de germinación del 82 % y un valor de índice de velocidad de germinación de 46.

La tabla 3.9 se muestran los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.57 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA referente a las medias de porcentajes de germinación de todas las temperaturas estudiadas, figura 3.58 (der.), muestra tres grupos significativamente diferentes. El peor es el de la condición 10°C puesto que no existe germinación.

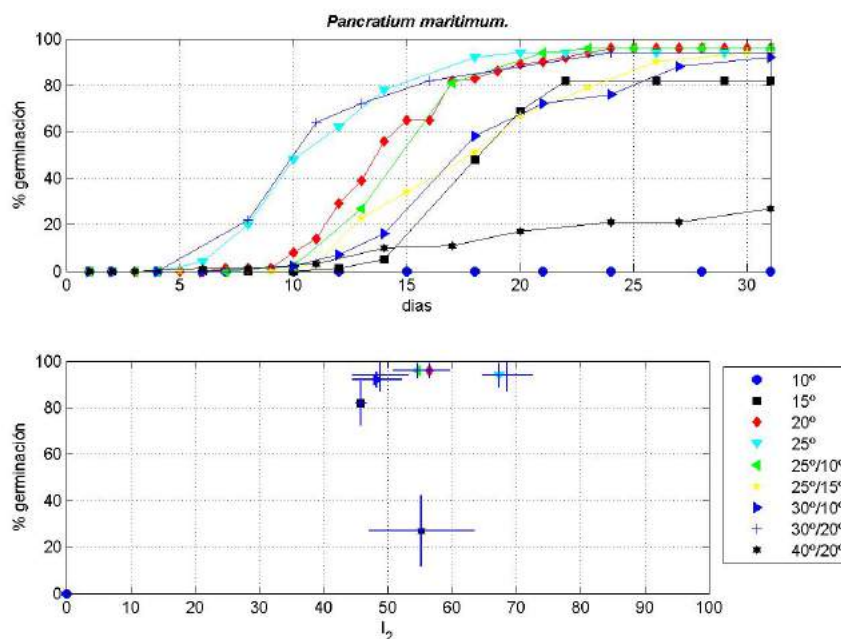


Fig. 3.57: *Pancratium maritimum*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

<i>Pancratium maritimum</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
15°	82.00	9.52	45.82	0.78	0	0
20°	96.00	3.27	56.52	3.24	0	0
25°	94.00	5.16	67.38	0.87	0	0
25°/10°	96.00	3.27	54.65	3.72	0	0
25°/15°	94.00	6.93	48.91	4.38	0	0
30°/10°	92.00	3.27	48.34	3.85	0	0
30°/20°	94.00	6.93	68.67	3.91	0	0
40°/20°	27.00	15.10	55.29	8.22	0	0

Tabla 3.9: *Pancratium maritimum*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

En un grupo intermedio se situa la condición $40/20^{\circ}\text{C}$. Por último hay un gran conjunto con el resto de condiciones.

El análisis ANOVA referente a las medias de velocidad de germinación de todas las temperaturas estudiadas, figura 3.58 (izq.), vuelve a mostrar diferentes grupos significativamente diferentes. La peor condición corresponde a 10°C . Un segundo grupo engloba, por un lado las condiciones 15°C , $25/15^{\circ}\text{C}$ y $30/10^{\circ}\text{C}$, y por otro lado las condiciones de 20°C , $25/10^{\circ}\text{C}$ y $40/20^{\circ}\text{C}$ con velocidades de germinación ligeramente superiores. En tercer lugar, los mejores resultados de velocidad de germinación se obtienen para el grupo con las condiciones 25°C y $30/20^{\circ}\text{C}$.

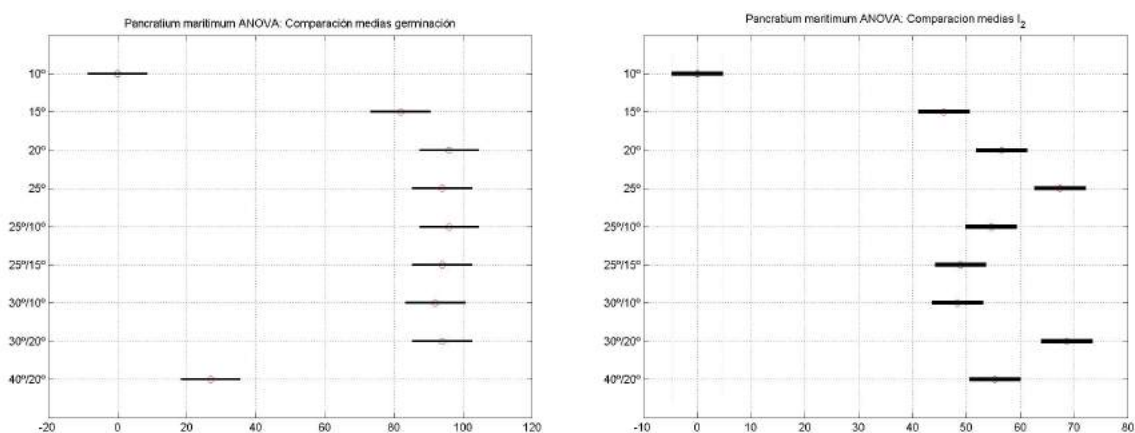


Fig. 3.58: *Pancretium maritimum*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

En el figura que representa los índices Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación, figura 3.59, se observan varias condiciones que destacan: $30/20^{\circ}\text{C}$ con la mayor velocidad de germinación, $25/10^{\circ}\text{C}$, 25°C y 20°C con el máximo porcentaje de germinación.

El análisis ANOVA que compara los resultados del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.60 (der.), muestra cuatro grupos con diferencias significativas. Los dos grupos con los peores resultados para 10°C y $40/20^{\circ}\text{C}$. El grupo con los mejores resultados, correspondiente a las condiciones 25°C y $30/20^{\circ}\text{C}$, y finalmente, el grupo de resultados ligeramente peores al anterior que incluye el resto de condiciones de germinación.

Por último, en la representación de los valores del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, tabla 3.60 (izq.) y figura 3.61, las mejores condiciones se corresponden con $30/20^{\circ}\text{C}$ y 25°C . En la interpolación de los datos

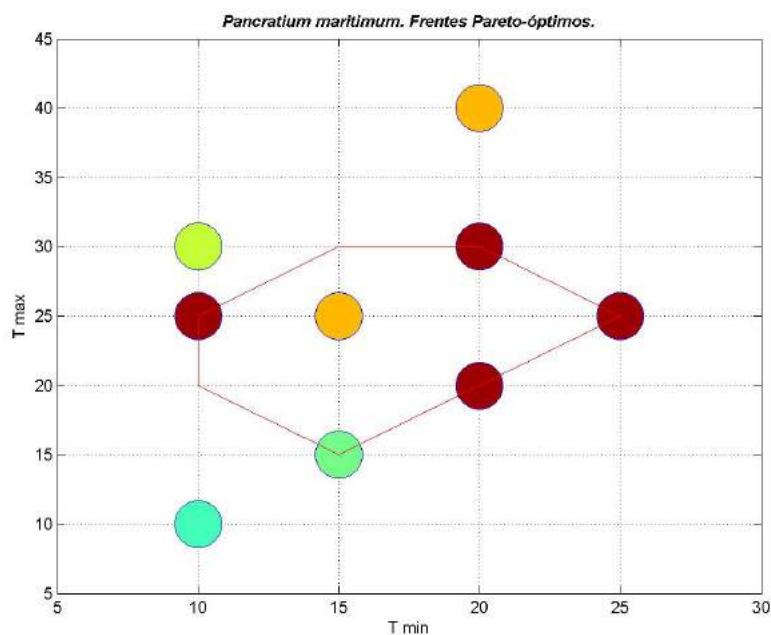
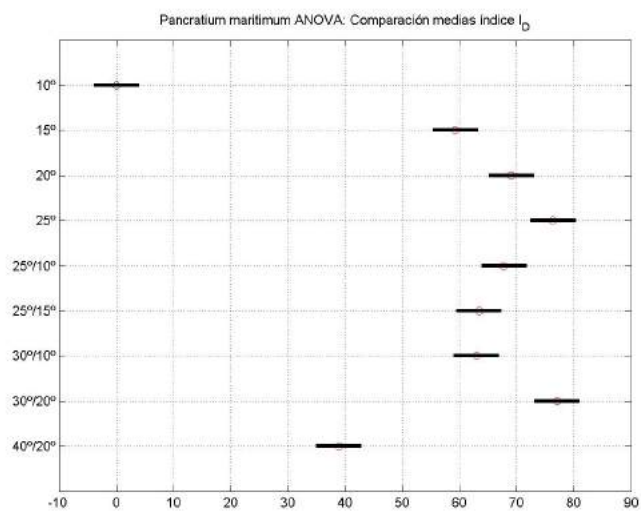


Fig. 3.59: *Pancratium maritimum*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Pancratium maritimum

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	0	0
15°	59.26	2.02
20°	69.01	1.81
25°	76.35	1.01
25°/10°	67.75	2.33
25°/15°	63.37	2.62
30°/10°	62.97	2.25
30°/20°	77.06	2.47
40°/20°	38.90	6.44

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.60: *Pancratium maritimum*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

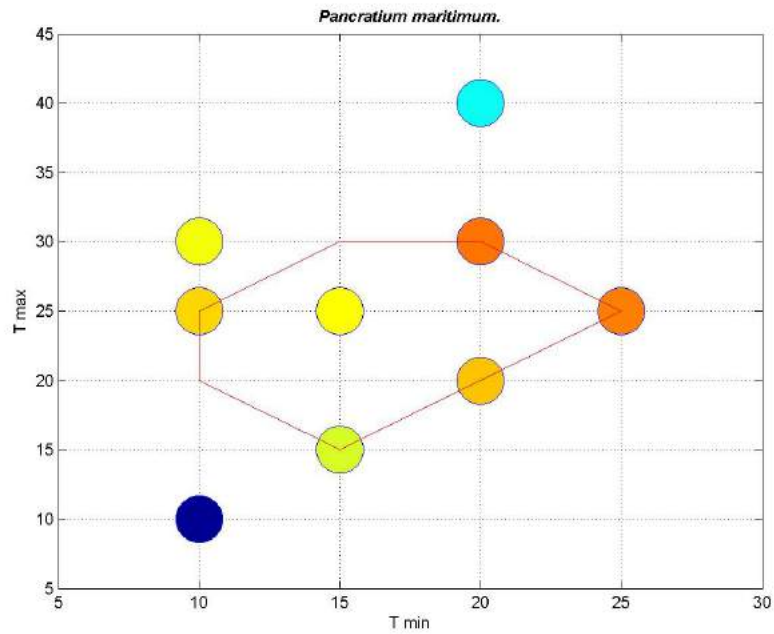


Fig. 3.61: *Pancratium maritimum*. Representación gráfica de I_D .

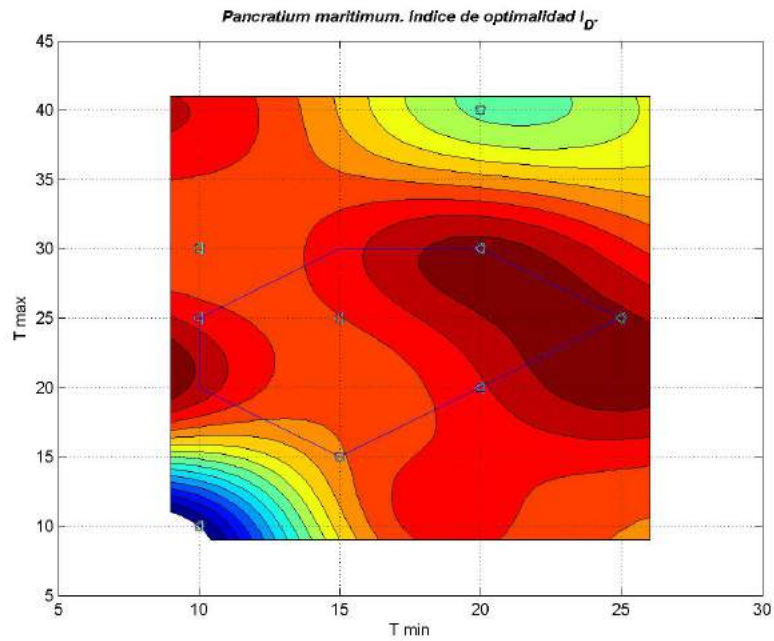


Fig. 3.62: *Pancratium maritimum*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

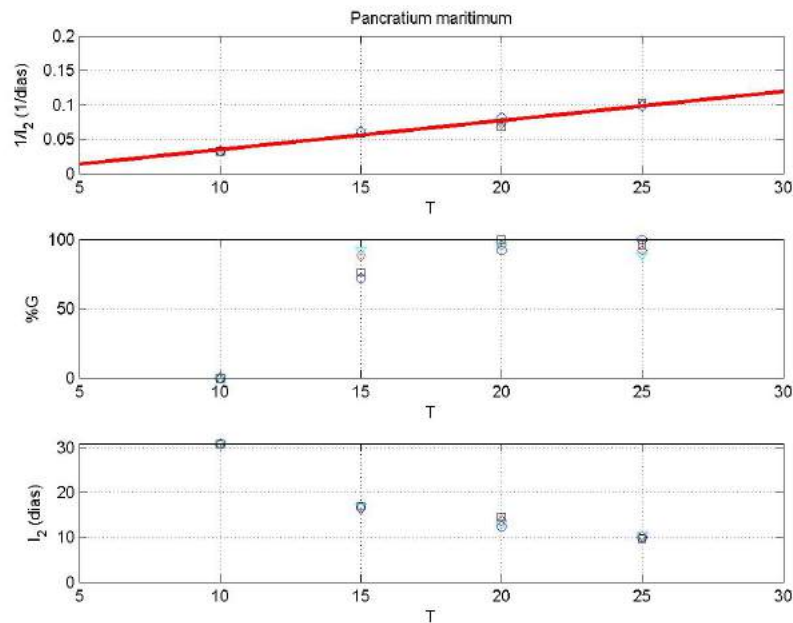


Fig. 3.63: *Pancratium maritimum*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

que puede hacerse en la gráfica de curvas de nivel, figura 3.62, se ve que las mejores condiciones se sitúan con temperaturas medias de 25°C .

En la gráfica 3.63 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 1.87°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es $236.79^{\circ}\text{C dia}$. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes sube hasta encontrar un óptimo a 20°C y pero luego no decae, se mantiene a 25°C . La pendiente del I_2 y el valor del I_2 presentan un valor alto.

En resumen, esta especie tiene preferencia por temperaturas medias altas, entre los 15 y 20°C . Soporta peor las bajas temperaturas que las altas. Así, es significativo el hecho de que, a diferencia de lo que ocurre con otras especies estudiadas, los resultados de germinación son mucho mejores a $40/20^{\circ}\text{C}$ que a 10°C .

3.2.10. *Teucrium dunense* Sennen

Cuando se representa la evolución de la germinación en el tiempo, figura 3.64 (arr.), hay varios tipos de respuesta: uno con el grupo de las mejores temperaturas que incluyen las de $25/15^{\circ}\text{C}$, 25°C , $30/20^{\circ}\text{C}$, 20°C y $20/10^{\circ}\text{C}$. En este caso la

germinación presenta más retardo en los dos casos $25/10^{\circ}\text{C}$ y 20°C . Otro grupo con los resultados intermedios de 15°C , $40/20^{\circ}\text{C}$ y $30/10^{\circ}\text{C}$. En este grupo se puede apreciar que hay un retardo de diez días en la condición de temperatura $40/20^{\circ}\text{C}$ y acaba sobrepasando el porcentaje de germinación de 15°C y $30/10^{\circ}\text{C}$. Para 10°C constantes no hay germinación significativa.

En la representación del porcentaje de germinación *vs.* el índice de velocidad de germinación, figura 3.64 (baj.), se aprecian estos grupos de resultados descritos. El peor para los 10°C constantes. Un grupo intermedio para $30/10^{\circ}\text{C}$, 15°C y $40/20^{\circ}\text{C}$, para los cuales el porcentaje de germinación está alrededor del 40-50% y el índice de velocidad de germinación es sobre 50-70. Y un grupo con el resto de temperaturas, con un porcentaje de germinación está entre el 70-80% y un índice de velocidad de germinación alrededor de 70-80.

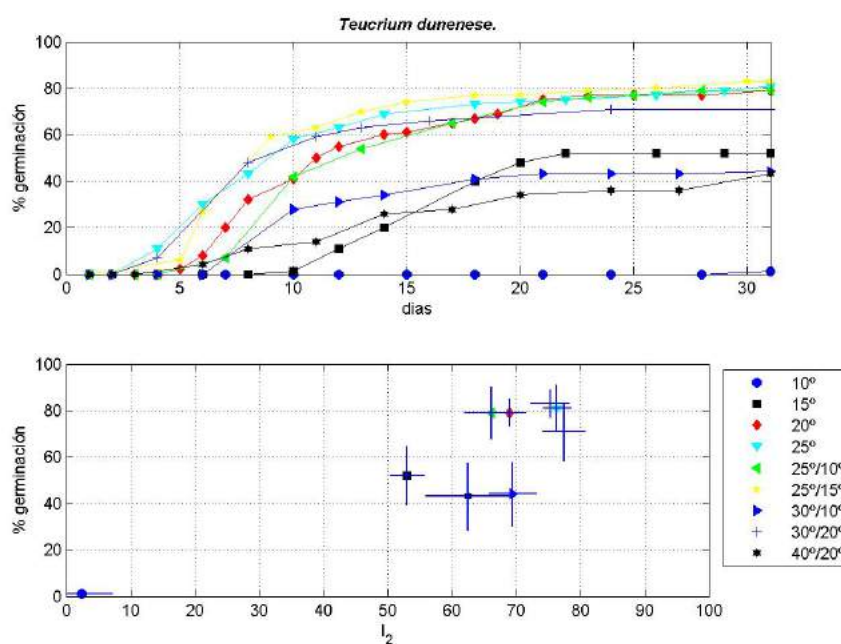


Fig. 3.64: *Teucrium dunense*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.10 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.64 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de la media de porcentaje de germinación, figura 3.65 (der.), muestra tres grupos de resultados significativamente diferentes. El mejor grupo incluye las temperaturas $25/15^{\circ}\text{C}$, $25/10^{\circ}\text{C}$, 25°C , 20°C y $30/20^{\circ}\text{C}$. Un segundo

Teucrium dunense

Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	1.00	2.00	2.42	4.84	1	1
15°	52.00	12.65	53.05	2.68	0	0
20°	79.00	6.00	69.05	2.43	0	0
25°	81.00	10.00	76.33	2.21	0	0
25°/10°	79.00	11.02	66.19	4.28	0	0
25°/15°	83.00	6.00	75.31	2.98	1	0
30°/10°	44.00	13.86	69.45	3.61	0	0
30°/20°	71.00	12.38	77.45	3.33	0	0
40°/20°	43.00	14.38	62.53	6.59	0	0

Tabla 3.10: *Teucrium dunense*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

grupo con las temperaturas 15°C , 30/10°C y 40/20°C . Y, por último, el grupo con la condición 10°C .

El análisis ANOVA de la velocidad de geminación, figura 3.65 (izq.), indica que hay tres grupos claros. Uno con los 10°C constantes, otro correspondiente a la condición con 15°C , finalmente, otro con el resto de condiciones, siendo y 40/20°C ligeramente peor que el resto, siendo las condiciones con mejores resultados para este grupo los 25°C , 25/15°C y 30/20°C .

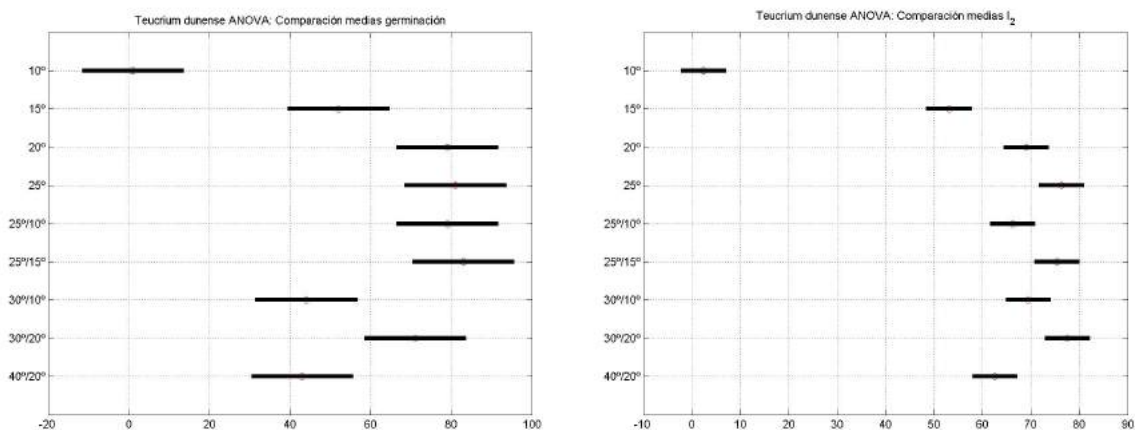


Fig. 3.65: *Teucrium dunense*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.).

El figura que representa los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación, figura 3.66, indica que hay tres condiciones, que se pueden considerar las mejores: 25°C , 25/15°C y 30/20°C .

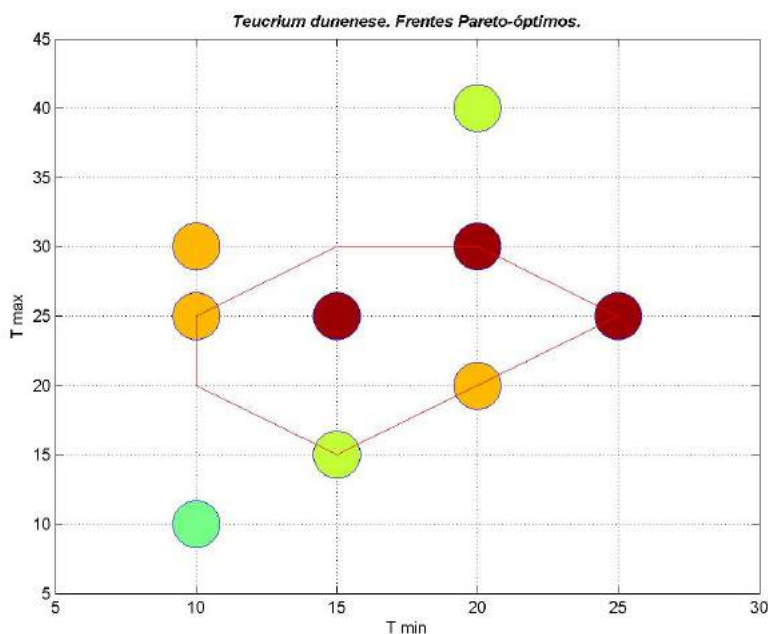


Fig. 3.66: *Teucrium dunense*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

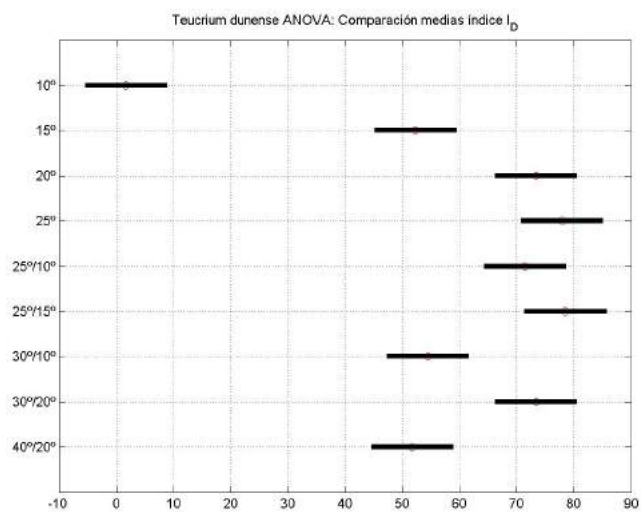
Por otro lado, los valores representados para el índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.67 (izq.) y figura 3.68, indica que las condiciones de 25/15°C y 25°C son ligeramente mejores que 25/10°C , 30/20°C y 20°C , y mucho mejor que el resto de temperaturas.

El análisis ANOVA que analiza los valores del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, figura 3.67 (der.), vuelve a dar tres grupos significativamente diferentes: uno para los 10°C , otro para 15°C , 30/10°C y 40/20°C y otro para el resto.

Si se representan en un figura de curvas de nivel los valores interpolados para el I_D , figura 3.69, se puede ver que la zona óptima para esta especie abarca la zona central que queda delimitada por las temperaturas estudiadas con tendencia a mínimas alrededor de los 20°C y máximas de 25°C . En cualquier caso, si parece que las mejores condiciones de germinación se obtienen para un rango de temperaturas mínimas amplio (si bien con preferencia por valores entre 15 y 25°C) y un rango de temperaturas máximas más restringido (entorno a los mencionados 25°C).

<i>Teucrium dunense</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	1.70	2.94
15°	52.26	6.14
20°	73.35	2.28
25°	77.88	3.24
25°/10°	71.38	5.02
25°/15°	78.46	1.50
30°/10°	54.45	6.08
30°/20°	73.38	5.26
40°/20°	51.72	9.46

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.67: *Teucrium dunense*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

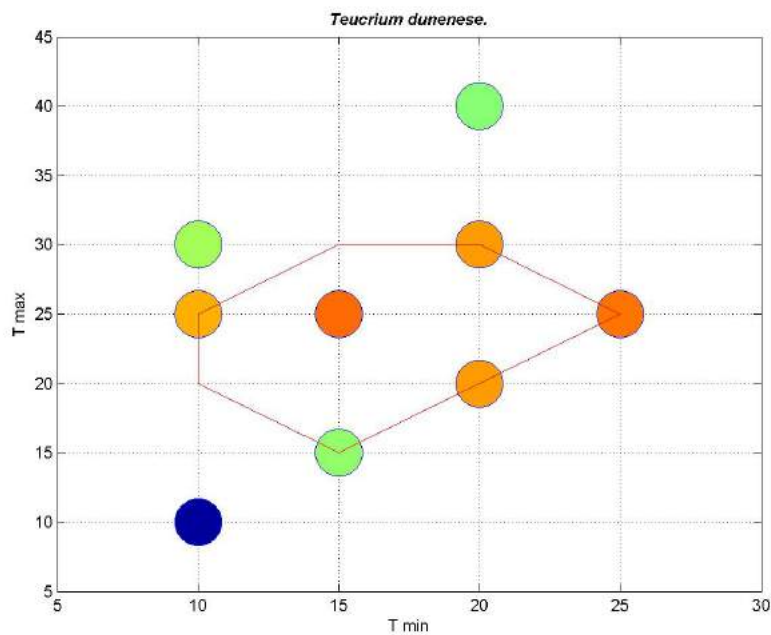


Fig. 3.68: *Teucrium dunense*. Representación gráfica de I_D .

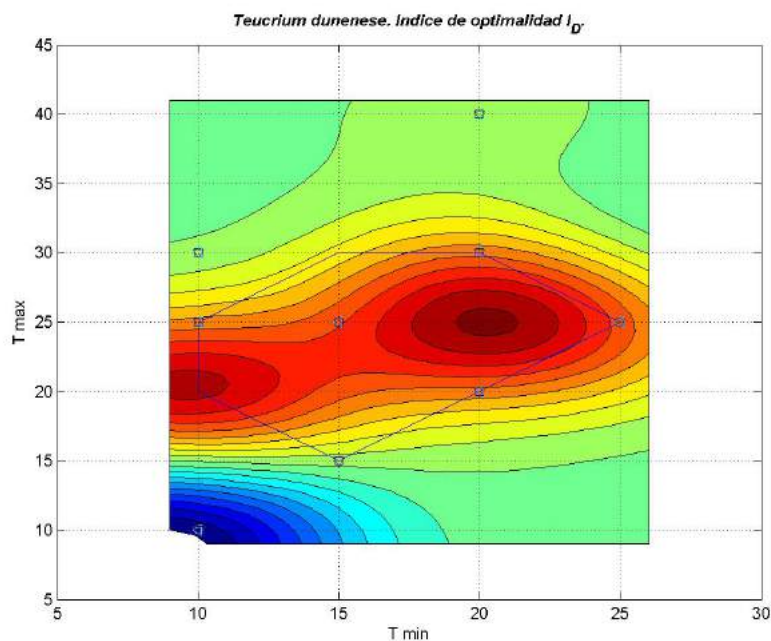


Fig. 3.69: *Teucrium dunense*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

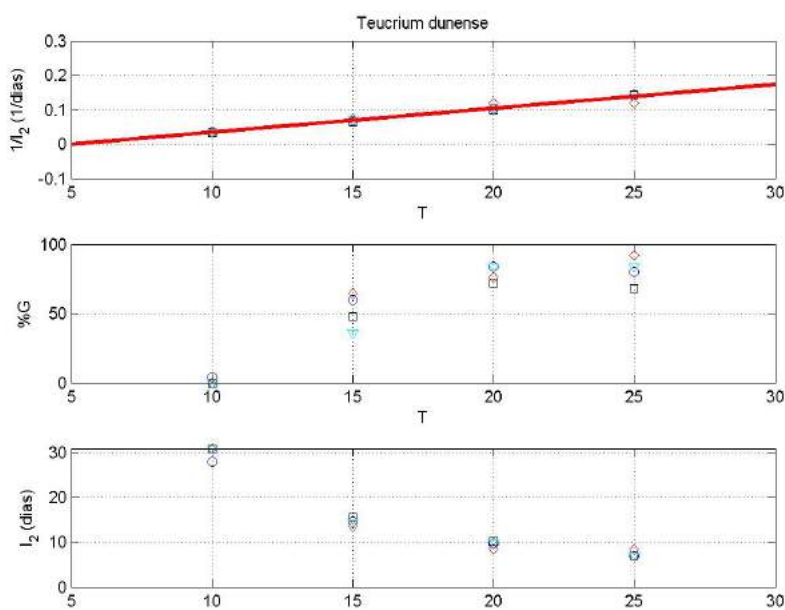


Fig. 3.70: *Teucrium dunense*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

Por último, en la gráfica 3.70 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.38°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 139.65°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes sube hasta encontrar un óptimo a 25°C . La pendiente del I_2 es muy alta y el valor del I_2 presenta un valor elevado.

3.2.11. *Halimium halimifolium* (L.) Willk.

Cuando se observa la representación gráfica de la evolución de la germinación respecto al tiempo, figura 3.71 (arr.), el patrón de comportamiento es similar para las temperaturas constantes de 15°C , 20°C y 25°C . Cuanto peores son los resultados más retardo hay en la aparición de la germinación, llegando a los cinco días para las condiciones de $30/10^\circ\text{C}$ y $40/20^\circ\text{C}$. Para la temperatura constante 10°C hay un retardo de cuatro días pero luego aparece una remontada que hace que se alcance un 90% de germinación.

La representación del porcentaje de germinación frente al índice de velocidad de germinación, figura 3.71 (baj.), indica que para las mejores condiciones de germinación hay menos desviación típica, es decir, la germinación es mucho más uniforme que en los casos en que la semilla es sometida a condiciones subóptimas. Esto se puede observar para 15°C , 20°C y 25°C , con porcentajes de germinación de casi un 90% y un índice de velocidad de germinación superior a 90.

La tabla 3.11 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.71 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA referido a los datos de medias de germinación, figura 3.72 (der.), muestra tres grupos significativamente diferentes: los peores resultados para $40/20^\circ\text{C}$ y $30/10^\circ\text{C}$, después para $30/20^\circ\text{C}$ y los mejores valores para las temperaturas constantes. La dispersión es alta para los datos en general.

El análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, figura 3.72 (izq.) también muestra unos grupos que coinciden con el ANOVA anterior, a grandes rasgos, tres grupos significativos. Por una lado el correspondiente a condiciones más extremas (10°C , $40/20^\circ\text{C}$, $30/10^\circ\text{C}$) con los peores resultados de velocidad de germinación. Por otro lado, un grupo con velocidades intermedias correspondiente a la temperaturas alternas. Finalmente, el grupo con mejores velocidades de germinación corresponde, significativamente, a las temperaturas constantes 15°C , 20°C y 25°C . La única diferencia está en los 10°C constantes, donde se puede observar que fun-

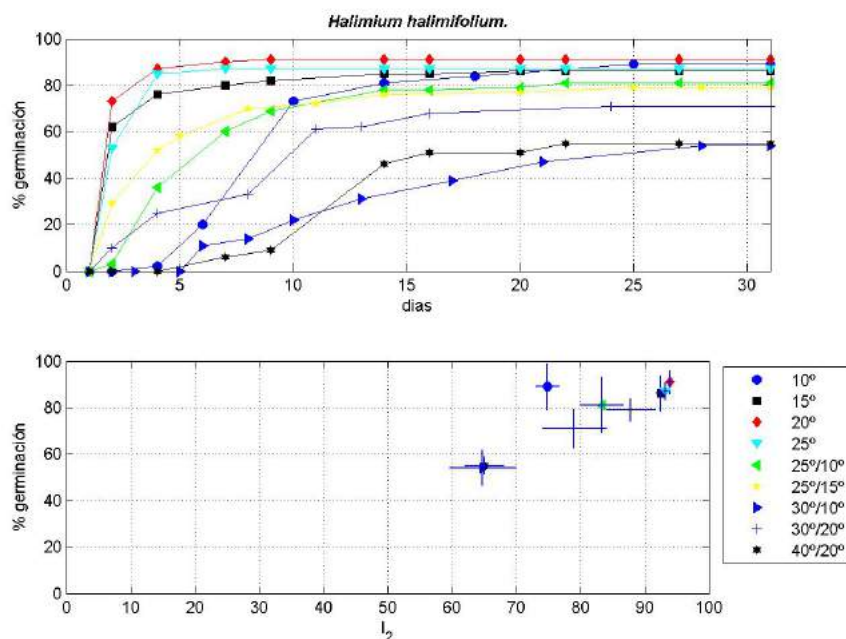


Fig. 3.71: *Halimium halimifolium*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

<i>Halimium halimifolium</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	89.00	10.00	74.88	1.80	0	0
15°	86.00	7.66	92.48	0.70	0	0
20°	91.00	5.03	93.94	0.44	0	0
25°	87.00	3.83	93.24	0.36	0	0
25°/10°	81.00	11.94	83.31	3.39	0	0
25°/15°	79.00	5.03	87.86	3.84	0	0
30°/10°	54.00	7.66	64.79	5.15	0	0
30°/20°	71.00	8.25	79.03	5.00	0	0
40°/20°	55.00	3.83	65.06	3.03	0	0

Tabla 3.11: *Halimium halimifolium*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

ciona mejor la semilla en lo referente a porcentaje de germinación que a velocidad de germinación.

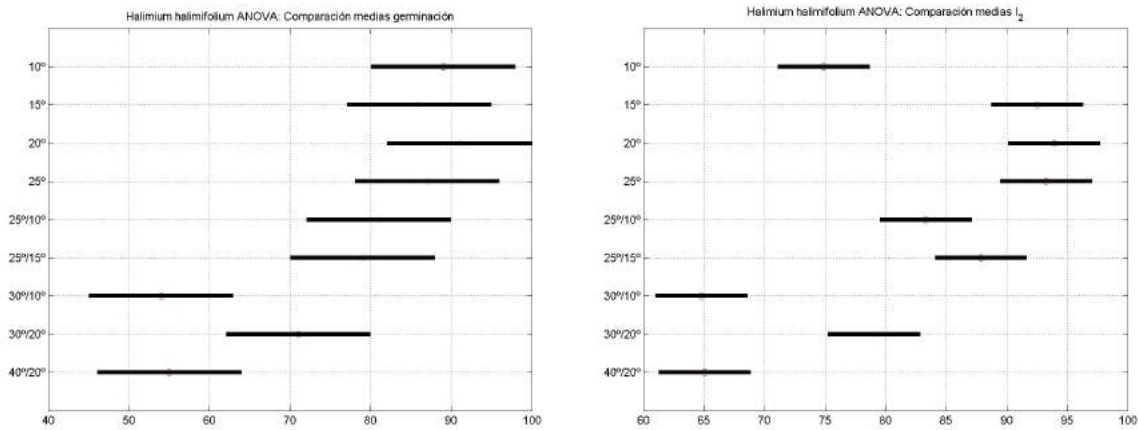


Fig. 3.72: *Halimium halimifolium*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

La figura que representa de los frentes Pareto-óptimos para los porcentajes de germinación y velocidad de germinación, figura 3.73, muestra que solo hay una temperatura a la cual se da la máxima velocidad de germinación y el máximo porcentaje de germinación. Esa temperatura es la de 20°C constantes.

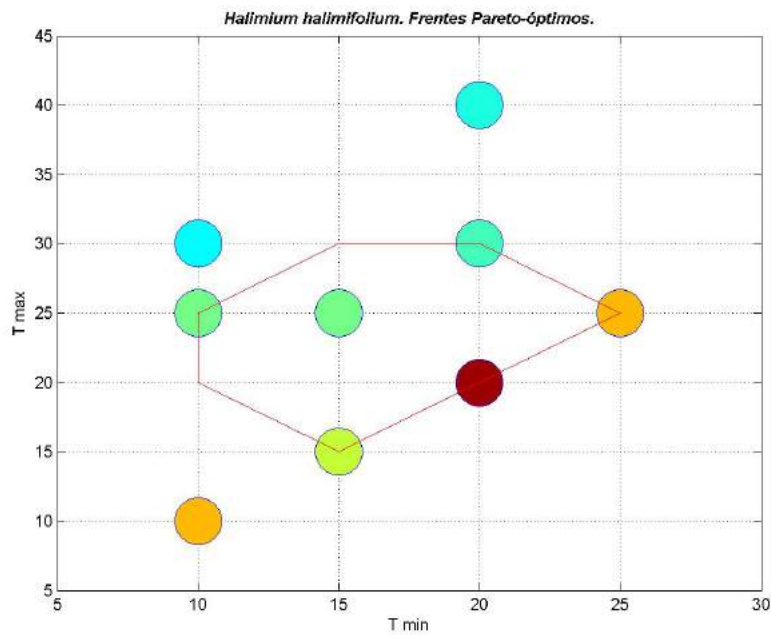


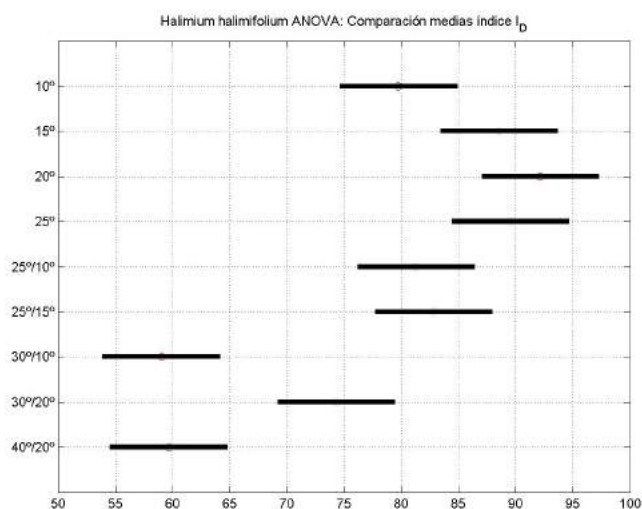
Fig. 3.73: *Halimium halimifolium*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Por último, los valores representados en el figura del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.74 (izq.) y figura 3.75, indica que las temperaturas de 15°C , 20°C y 25°C son las mejores para esta especie y las peores las de 30/10°C y 40/20°C . Los resultados intermedios se encuentran a 25/15°C , 25/10°C , 30/20°C y 10°C .

Halimium halimifolium

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	79.75	2.13
15°	88.53	4.12
20°	92.13	2.55
25°	89.56	1.00
25°/10°	81.28	5.22
25°/15°	82.83	3.80
30°/10°	59.02	5.54
30°/20°	74.30	3.84
40°/20°	59.68	2.41

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.74: *Halimium halimifolium*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

El análisis ANOVA para el índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.74 (der.), muestra cuatro grupos significativamente diferentes. El mejor grupo incluye a 15°C , 20°C y 25°C , un segundo grupo con 10°C , 25/15°C y 25/10°C , un tercer grupo para 30/20°C y por último 40/20°C y 30/10°C . El resultado es consistente con los resultados de los ANOVAS parciales: a temperaturas constantes se obtienen los mejores resultados de germinación.

Cuando se pasan estos resultados a una figura de curvas de nivel, figura 3.76, se puede interpolar que toda la zona inferior que queda delimitada por el área que encierra las temperaturas estudiadas, es adecuada. Es decir, que esta especie muestra los óptimos de germinación en temperaturas máximas alrededor de 20-25°C y mínimas que se acerquen también a los 20°C . En resumen, esta especie tiene clara preferencia por condiciones en las que la temperatura mínima y la máxima no difieran mucho. La diferencia entre la temperatura mínima y máxima afecta fundamentalmente a la velocidad de germinación, y no al porcentaje de germinación.

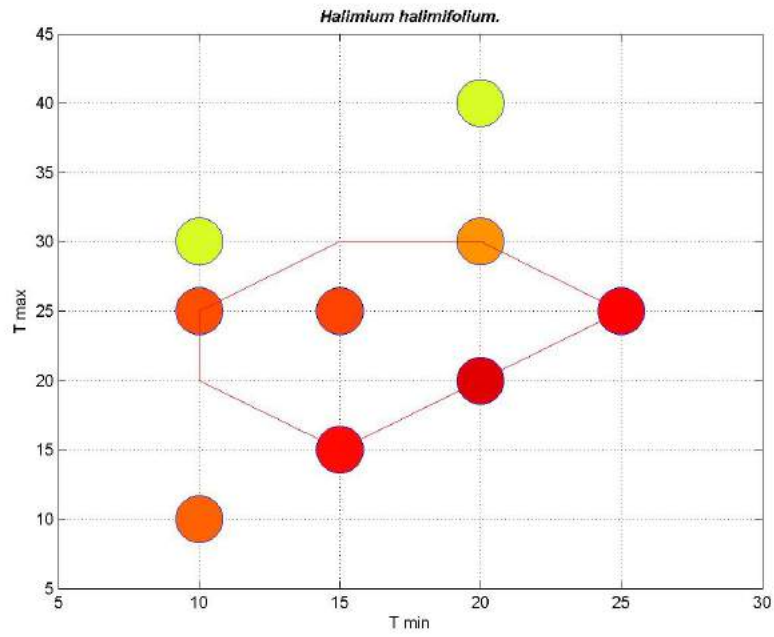


Fig. 3.75: *Halimium halimifolium*. Representación gráfica de I_D .

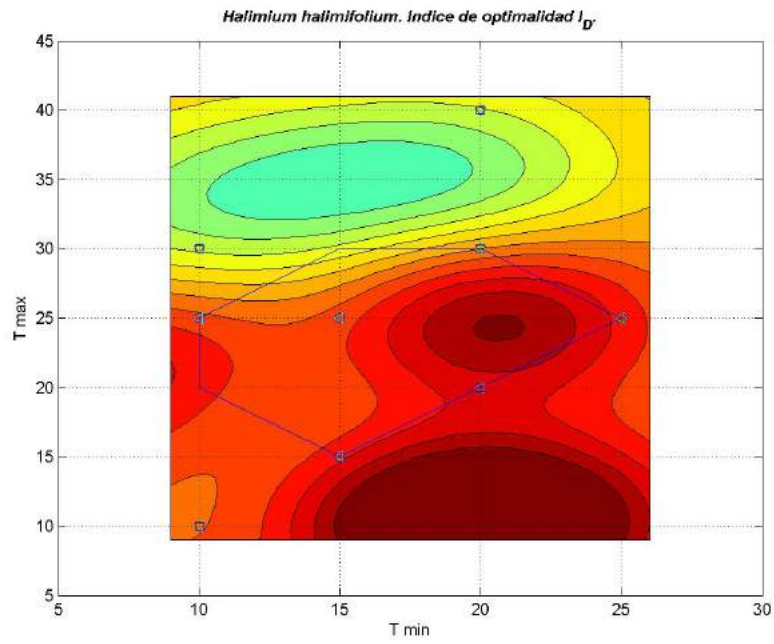


Fig. 3.76: *Halimium halimifolium*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

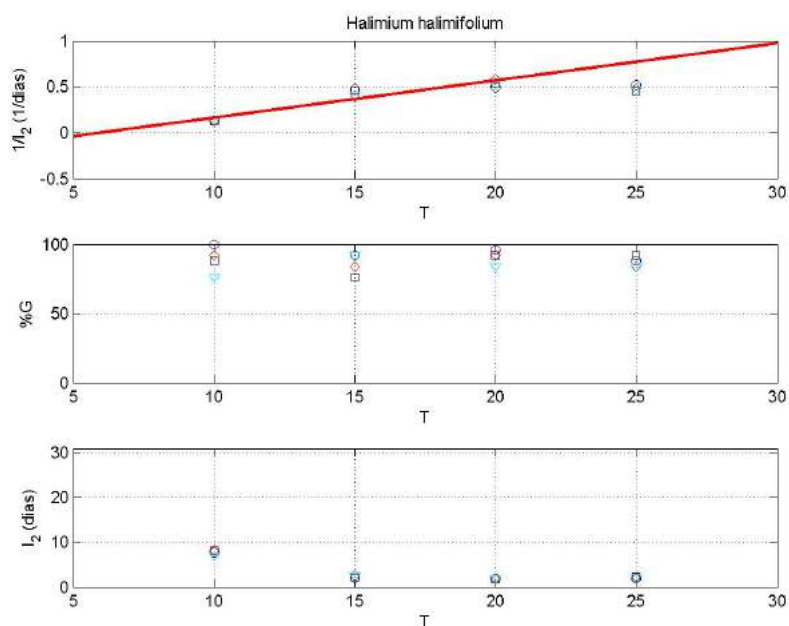


Fig. 3.77: *Halimium halimifolium*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

En la gráfica 3.77 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.99°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 24.68°C dia . Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes se mantiene a los cuatro valores de temperaturas, no se distingue ningún óptimo. La pendiente del I_2 es alta y el valor del I_2 presentan un valor bajo.

3.2.12. *Phillyrea angustifolia* L.

En la gráfica que muestra la evolución de la germinación en el tiempo, figura 3.78 (arr.), se puede inferir que los 15°C son los óptimos para la germinación de la especie, pero con un retardo en el inicio de diez días. Todo el resto de temperaturas estudiadas sigue el mismo patrón, diferente al de los 15°C . Se observan bajos porcentajes de germinación como pauta general.

Cuando se representa el porcentaje de germinación vs. el índice de velocidad de germinación (I_2), figura 3.78 (baj.), se observa una gran dispersión de los datos, por lo que se refiere al índice de velocidad de germinación, para algunos valores como

por ejemplo 30/20°C . Esta representación indica que la temperatura de 15°C puede dar buenos resultados.

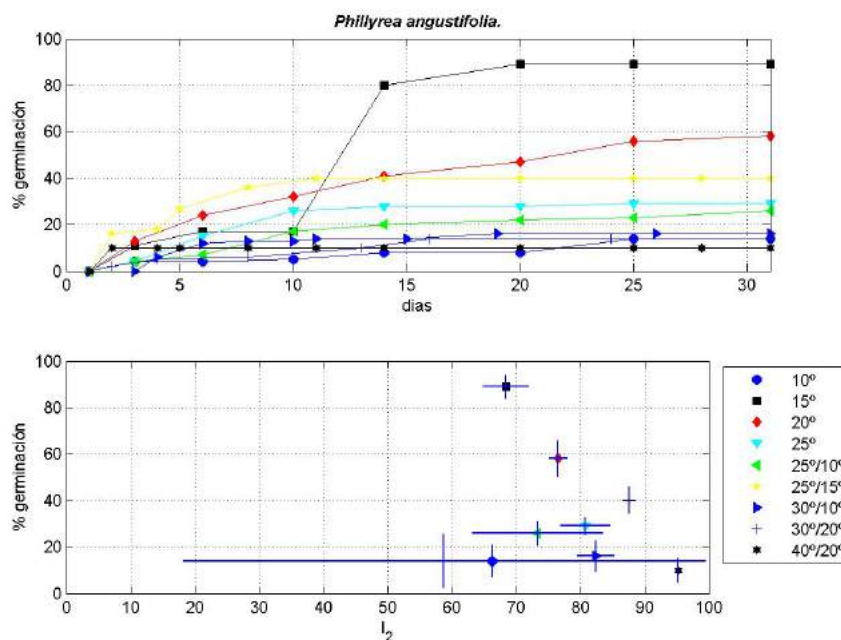


Fig. 3.78: *Phillyrea angustifolia*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

La tabla 3.12 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.78 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA referido a los datos de porcentajes de germinación, figura 3.79 (der.), indica que hay grupos de condiciones significativamente diferentes unas de otras. El de 15°C , un grupo con 20°C , y dos grupos apenas distinguibles, el primero con 25/15°C , 25°C , 25/10°C y, el segundo con 10°C , 30/10°C , 30/20°C y 40/20°C .

El análisis ANOVA de la comparación de medias para el índice de velocidad de germinación, figura 3.79 (izq.), no muestra ningún conjunto de datos que sea significativamente diferente uno de otro. La desviación típica es muy grande.

El frente Pareto-óptimo correspondiente al porcentaje y velocidad de germinación, figura 3.80, indica que hay varias condiciones buenas. En este grupo se encuentran además de los 15°C , temperaturas como 25/15°C y 20°C e incluso 40/20°C . En este último caso, debido a que a esta condición la velocidad de germinación fue muy alta (si bien el porcentaje de germinación muy bajo).

<i>Phillyrea angustifolia</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	14.00	6.93	66.34	13.28	0	0
15°	89.00	5.03	68.42	3.49	0	0
20°	58.00	7.66	76.53	1.39	0	0
25°	29.00	3.83	80.78	3.88	0	0
25°/10°	26.00	5.16	73.38	10.12	0	0
25°/15°	40.00	5.66	87.55	1.02	0	0
30°/10°	16.00	6.53	82.40	2.89	0	0
30°/20°	14.00	11.55	58.82	40.68	0	0
40°/20°	10.00	5.16	95.19	0.00	0	0

Tabla 3.12: *Phillyrea angustifolia*. Porcentaje de germinación (%G) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

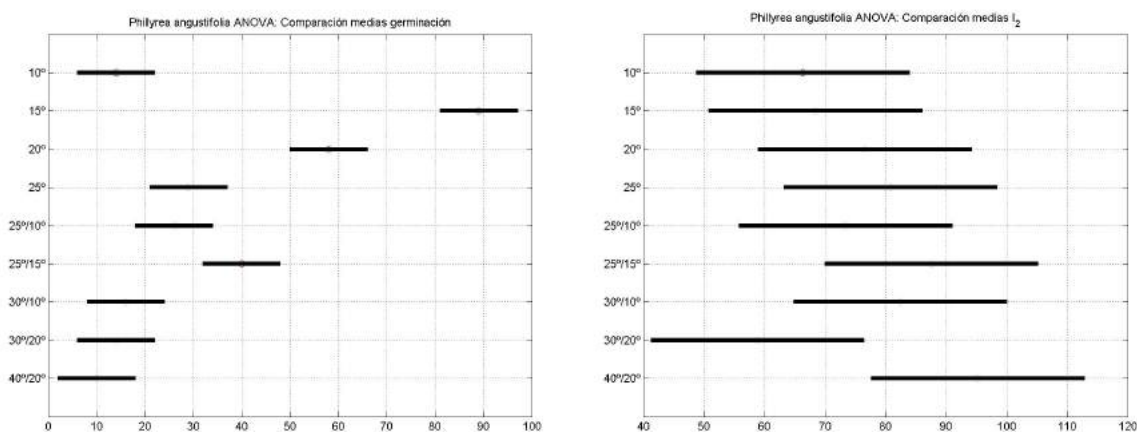


Fig. 3.79: *Phillyrea angustifolia*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

Por último, los valores representados en el figura para el índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.81 (izq.) y figura 3.82, indican que la mejor condición es 15°C .

En el análisis ANOVA de comparación del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, figura 3.81 (der.), aparecen dos grupos significativamente diferentes: 15°C y 20°C en un grupo, 25°C , el resto en otro. No obstante, en este gran grupo si hay condiciones distinguibles unas de otras. Así, por ejemplo, 25/15°C es claramente mejor que 10°C .

En la interpolación se puede estimar que el óptimo no está en los 15°C , sinó un poco desplazado hacia los 17°C . El figura de curvas de nivel, figura 3.83, correspon-

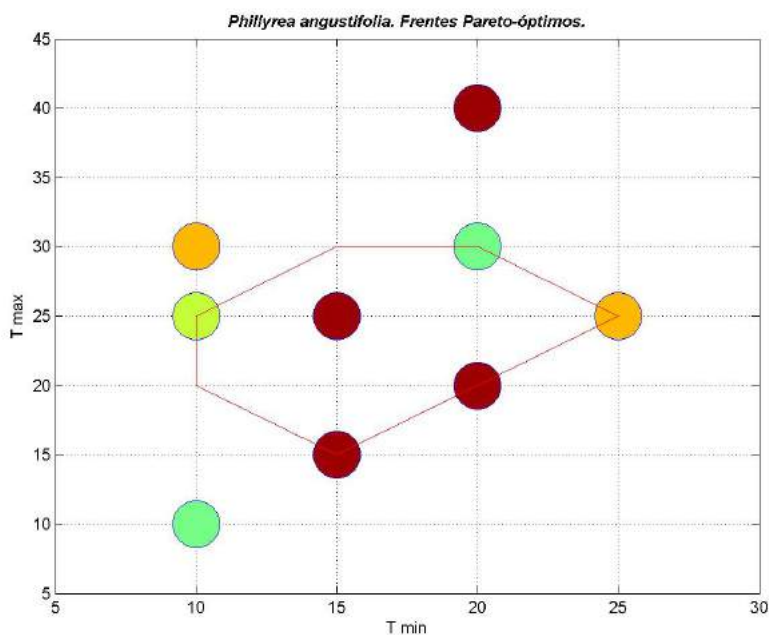
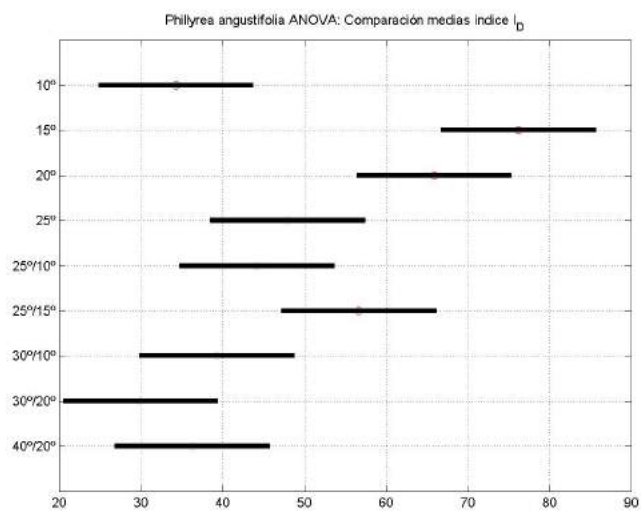


Fig. 3.80: *Phillyrea angustifolia*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

Phillyrea angustifolia

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	34.30	5.64
15°	76.22	2.74
20°	65.87	3.87
25°	47.95	2.58
25°/10°	44.17	4.87
25°/15°	56.65	3.28
30°/10°	39.27	3.75
30°/20°	29.93	17.53
40°/20°	36.27	3.16

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.81: *Phillyrea angustifolia*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

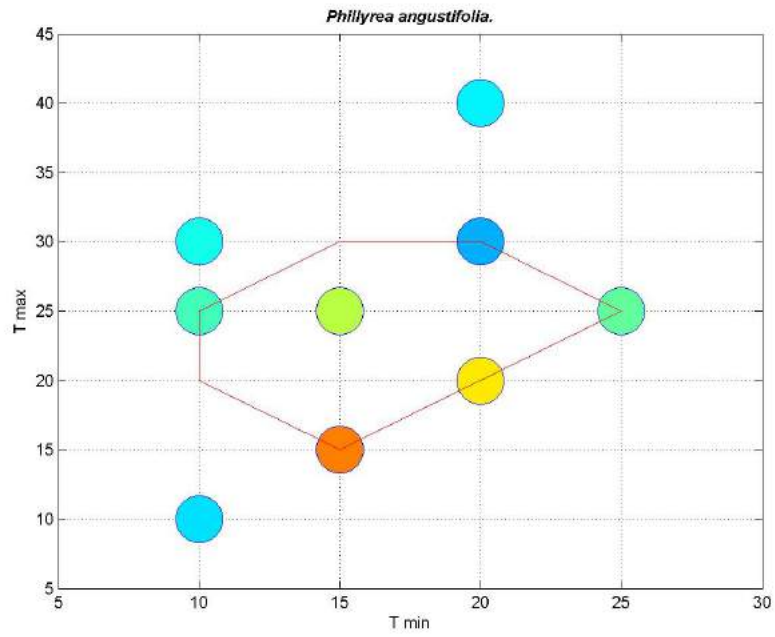


Fig. 3.82: *Phillyrea angustifolia*. Representación gráfica de I_D .

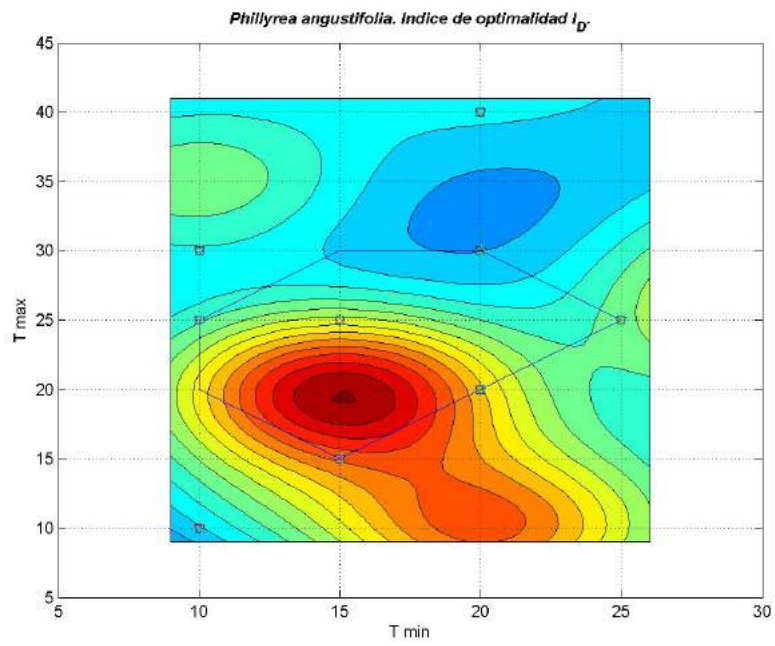


Fig. 3.83: *Phillyrea angustifolia*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

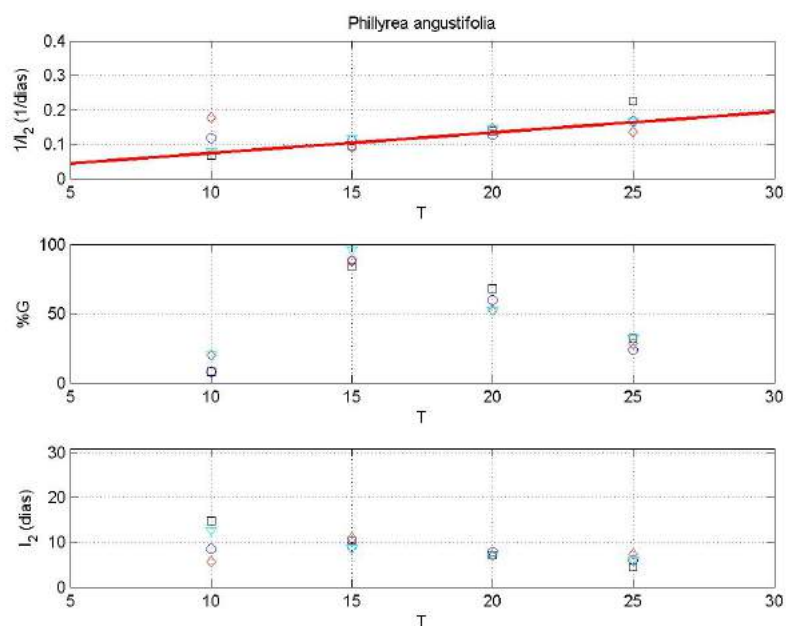


Fig. 3.84: *Phillyrea angustifolia*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

diente al índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación muestra que el óptimo para esta especie se encuentra en una estrecha región de temperaturas mínimas y máximas bajas, con preferencia por temperaturas constantes.

En la gráfica 3.84 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de -2.21°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 166.87°C día . Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas sube hasta alcanzar un óptimo a 15°C . La pendiente del I_2 y el valor del I_2 presentan un valor bajo.

3.2.13. *Rhamnus oleoides* L. subsp. *angustifolia* (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez

Cuando se representa la evolución en el tiempo de la media de germinación, figura 3.85 (arr.), se pueden observar también dos grupos, ambos con el mismo patrón de evolución. Para las temperaturas que son menos favorables para la especie se ve un retraso de diez días o más en el inicio de la germinación, mientras que para el otro grupo de temperaturas se ve un inicio de la germinación entorno a los 3-4 días.

En ningún caso el porcentaje de germinación supera el 65 %. Es llamativo que para 25/10°C , transcurridos 15 días, el porcentaje pasa de casi un 40 % a un 60 %.

La representación del porcentaje de germinación *vs.* el índice de velocidad de germinación (I_2), figura 3.85 (baj.), indica dos cosas principalmente. Por un lado, una el alto grado de dispersión para algunas temperaturas estudiadas, como 40/20°C , 30/20°C y 30/10°C de los valores del índice de velocidad de germinación. Por otro lado, que hay dos grupos de valores: los que tienen alta dispersión que coinciden con los de porcentaje de germinación más bajos y de índice de velocidad de germinación, y los que no tienen una alta dispersión (solo 25/15°C para el porcentaje de germinación) que parecen tener unos mejores resultados en cuanto a porcentaje de germinación.

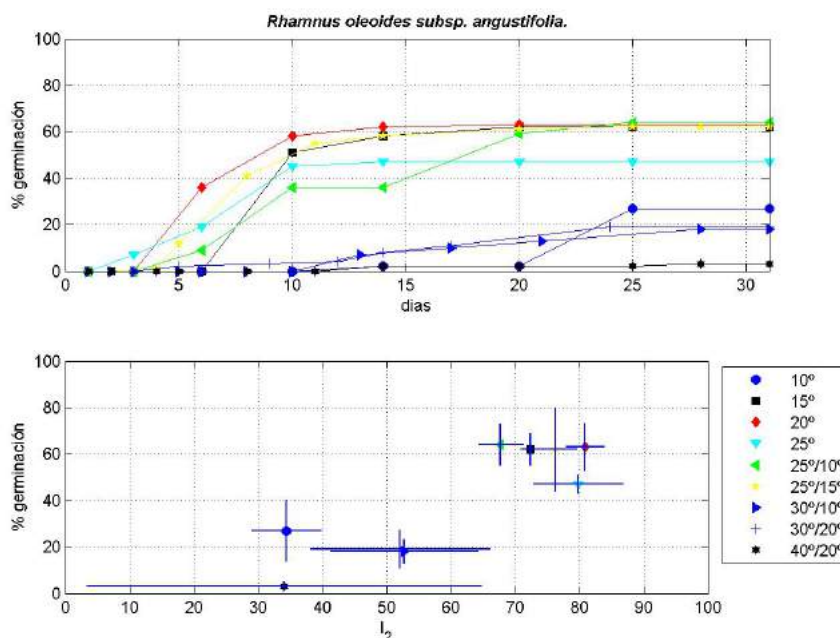


Fig. 3.85: *Rhamnus oleoides subsp. angustifolia*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.13 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.85 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA referente a la comparación de medias de germinación, figura 3.86 (der.), indica la existencia de dos grupos significativamente diferentes, donde destaca la preferencia por el ambiente suave pero no demasiado fresco de los 15°C , 20°C , 25/10°C y 25/15°C , y la no tolerancia de los ambientes más cálidos como

Rhamnus oleoides subsp. *angustifolia*

Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	27.00	13.22	34.46	5.41	0	0
15°	62.00	6.93	72.46	1.60	0	0
20°	63.00	10.00	80.88	2.98	0	0
25°	47.00	3.83	79.81	6.93	0	1
25°/10°	64.00	8.64	67.76	3.45	0	0
25°/15°	62.00	18.04	76.31	3.24	0	0
30°/10°	18.00	5.16	52.72	11.44	0	0
30°/20°	19.00	8.25	52.11	13.96	0	0
40°/20°	3.00	2.00	34.07	30.74	1	0

Tabla 3.13: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

30/10°C , 30/20°C y por supuesto, 40/20°C . A 10°C constantes tampoco hay un alto porcentaje de germinación.

El análisis ANOVA que del índice de velocidad de germinación, figura 3.86 (izq.), muestra exactamente el mismo patrón que el de porcentaje de germinación. Esta es una observación resaltable. Como se ha visto en algunas de las especies analizadas anteriormente, no siempre porcentaje y velocidad de germinación siguen el mismo patrón de resultados en función de las condiciones experimentales.

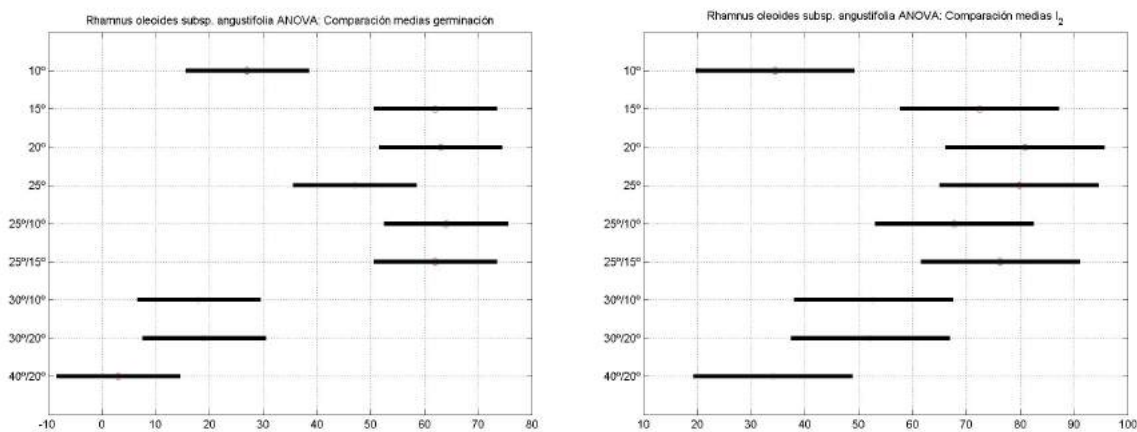


Fig. 3.86: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Análisis ANOVA: del $\%G$ (izq.) y de I_2 (der.). (derecha)

La representación del frente Pareto-óptimos para el porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.87, indica que hay dos condiciones óptimas: son 20°C y 25/10°C . Elegir una u otra ya dependería del peso que se le diese al porcentaje de germinación o a la velocidad de germinación.

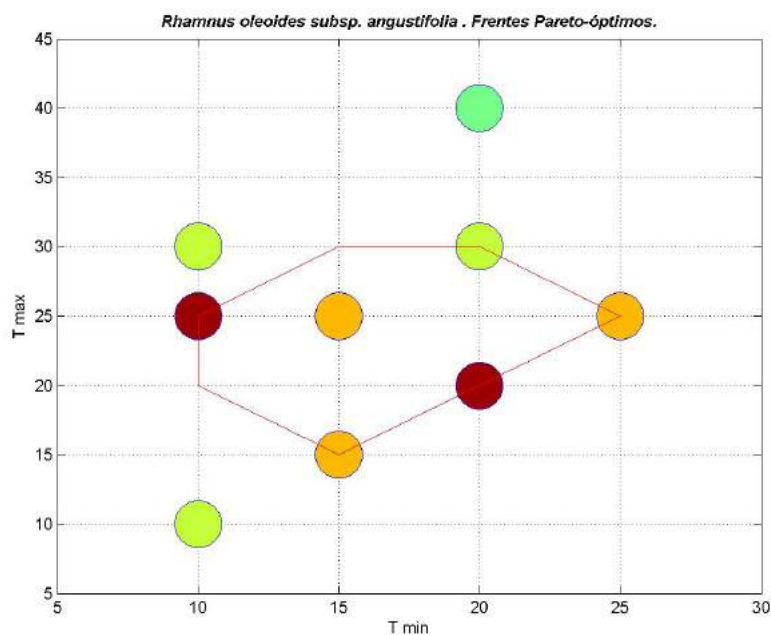


Fig. 3.87: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

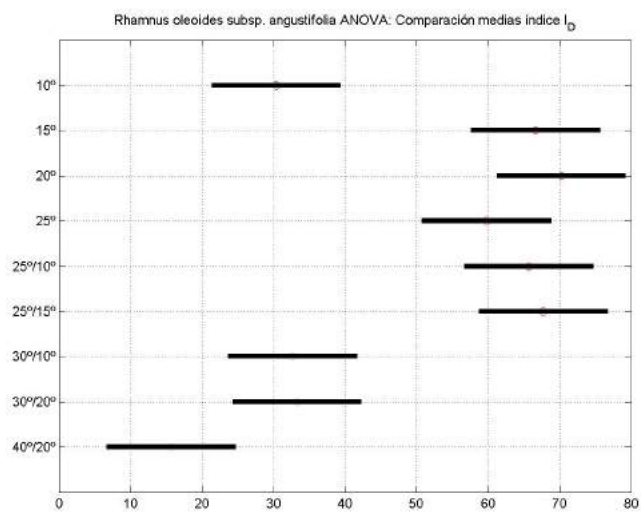
Finalmente, los valores representados en la figura para el índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, tabla 3.88 (izq.) y figura 3.89, indica que la mejor condición es 20°C , pero al hacer la representación de los valores interpolados en el figura de curvas de nivel, figura 3.90, se puede observar que un valor de temperaturas alternas de 20/10°C podría ser incluso mejor que los 20°C constantes. En cualquier caso, se observa que las condiciones a las que esta especie germina mejor corresponden a la estrecha franja de temperaturas máximas entre 15 y 25°C , y temperaturas mínimas con preferencia por valores entre 10 y 20°C , si bien acepta valores mayores sin grandes efectos adversos.

El análisis ANOVA del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, figura 3.88 (der.), marca tres grupos significativamente diferentes: el peor con la condición 40/20°C , el intermedio con las condiciones 10°C , 30/10°C y 30/20°C . El mejor agrupa el resto de condiciones.

Rhamnus oleoides subsp. *angustifolia*

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	30.34	6.03
15°	66.67	3.04
20°	70.21	4.57
25°	59.75	3.39
25°/10°	65.67	4.67
25°/15°	67.70	9.24
30°/10°	32.64	1.41
30°/20°	33.26	8.49
40°/20°	15.71	11.32

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.88: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

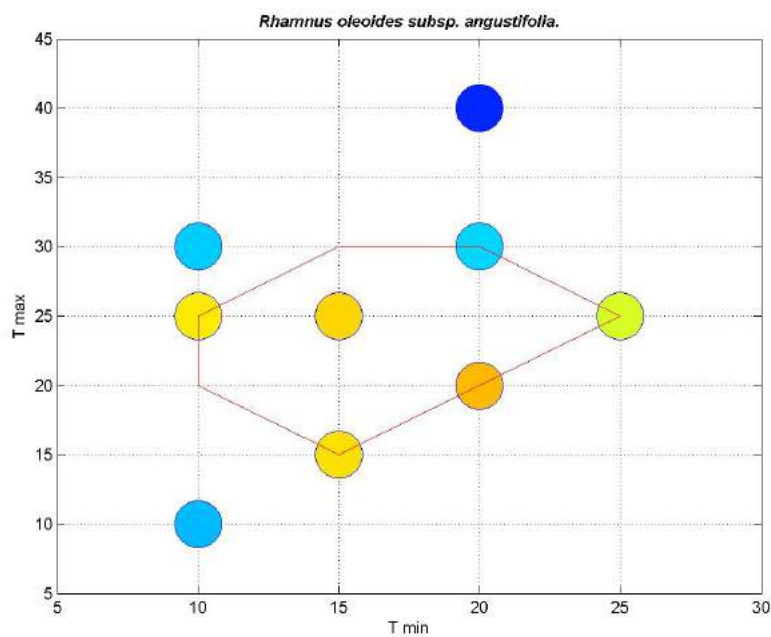


Fig. 3.89: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Representación gráfica de I_D .

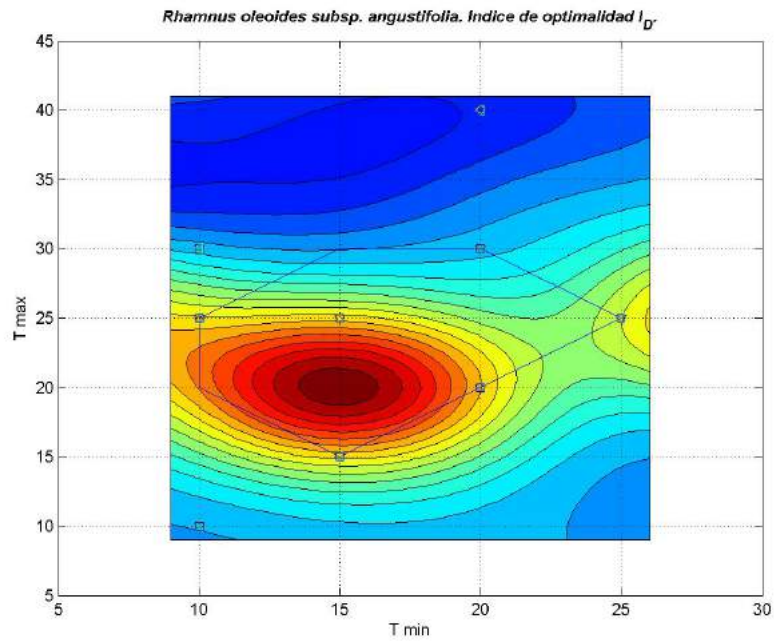


Fig. 3.90: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

Por último, en la gráfica 3.91 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.79°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 81.47°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas constantes va subiendo hasta los 15°C . La pendiente del I_2 es muy alta y el valor del I_2 es bajo.

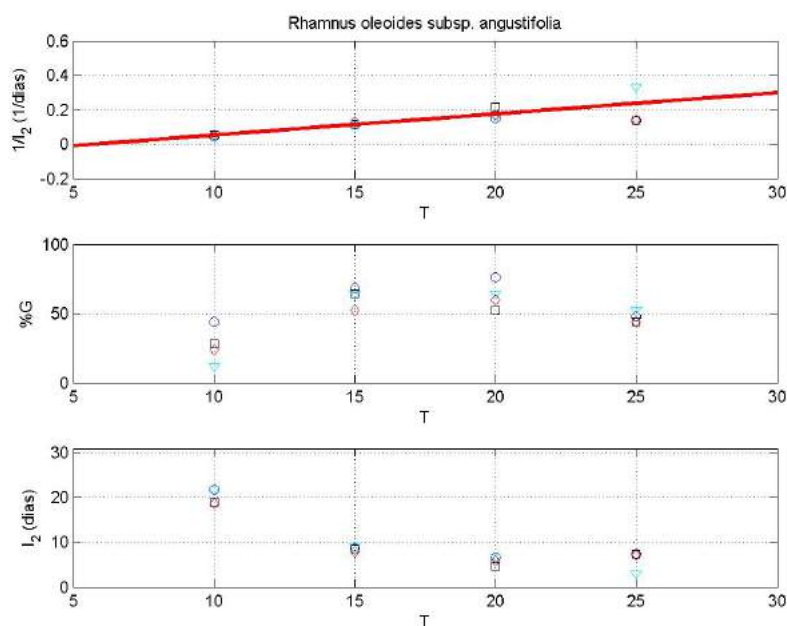


Fig. 3.91: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

3.2.14. *Myrtus communis* L.

En la evolución de los porcentajes de germinación en el tiempo, figura 3.92 (arr.), el patrón de comportamiento es el mismo para todas las temperaturas estudiadas, siendo los mejores resultados los correspondientes a 25°C y 25/15°C , y los peores a 30/20°C .

Cuando se representa la media del porcentaje de germinación *vs.* la velocidad de germinación (I_2), figura 3.92 (baj.), se aprecia que todos los puntos se agrupan en una zona de la gráfica que comprende una velocidad de geminación entre el 80-90 y un porcentaje de germinación entre el 30-60 %.

La tabla 3.14 muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.92 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de las medias de porcentaje de germinación, figura 3.93 (izq.), muestra dos grandes grupos de resultados, uno que incluye los 25°C constantes y la alterna de 25/15°C , y otro gran grupo donde estaría el resto de temperaturas, siendo las peores 40/20°C y 30/20°C . En este análisis no hay grandes diferencias entre los grupos.

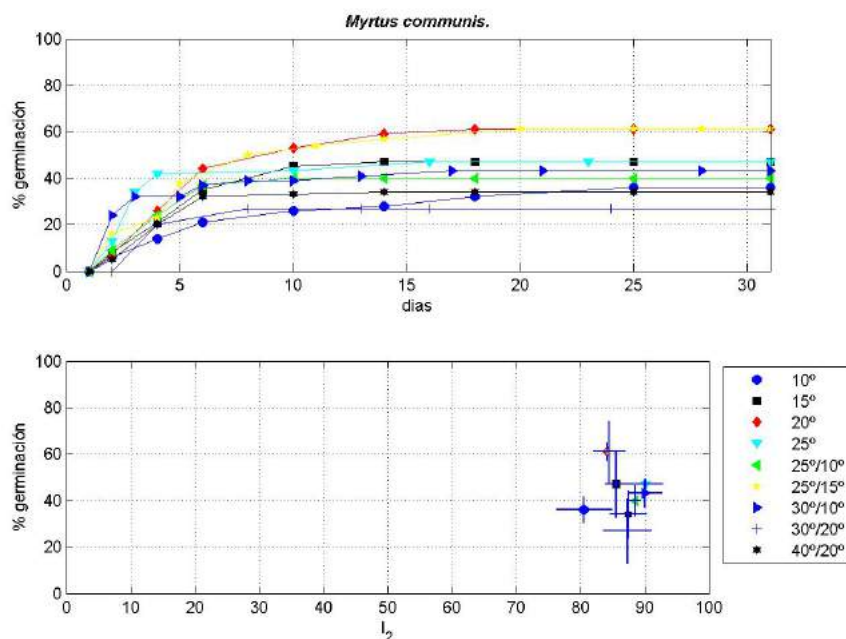


Fig. 3.92: *Myrtus communis*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (abj.) Porcentaje de germinación final medio vs. I_2 .

<i>Myrtus communis</i>						
Temperaturas	Germinación (%)	Velocidad (I_2)	Test de Lilliefors			
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	36.00	5.66	80.57	4.33	0	0
15°	47.00	14.38	85.62	1.80	0	0
20°	61.00	3.83	84.16	1.94	0	0
25°	47.00	2.00	90.19	2.61	1	0
25°/10°	40.00	6.53	88.50	0.87	0	0
25°/15°	61.00	13.22	84.56	2.45	0	0
30°/10°	43.00	6.00	90.07	2.60	0	0
30°/20°	27.00	14.00	87.30	3.71	1	0
40°/20°	34.00	10.07	87.47	2.80	0	0

Tabla 3.14: *Myrtus communis*. Porcentaje de germinación (%G) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media (%G, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

El análisis ANOVA del índice de velocidad de germinación, figura 3.93 (der.), muestra tres grupos: uno que abarca los mejores resultados 25°C , $30/10^{\circ}\text{C}$ y $25/15^{\circ}\text{C}$, el de los peores que corresponde a 10°C y otro con resultados intermedios que incluye al resto. Hay que resaltar dos cosas, por un lado, los grupos anteriores están solapados entre ellos. Hay diferencia clara entre el mejor y el peor, pero no entre el peor y el intermedio, ni entre éste y el mejor. El otro resultado resaltable es el hecho de que el patrón de resultados para la velocidad de germinación no coincide con el obtenido para el porcentaje de germinación.

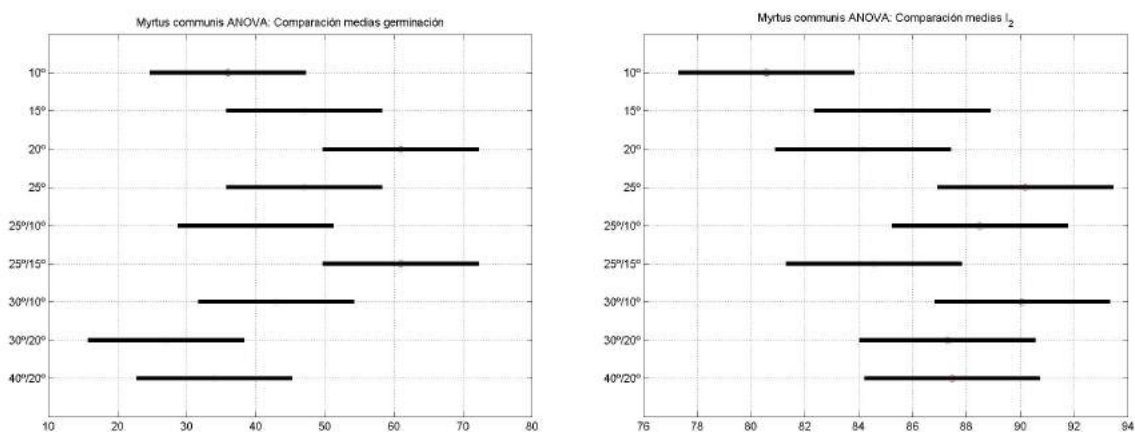


Fig. 3.93: *Myrtus communis*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

En la figura que representa los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.94, se observa que las condiciones correspondientes a $25/15^{\circ}\text{C}$ y 20°C son las mejores.

Por último, los valores representados en la figura referente al índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, tabla 3.95 (izq.) y figura 3.96, aparece como mejor condición de germinación para esta especie la temperatura constante 20°C y, en segundo lugar, la de $25/15^{\circ}\text{C}$. Estos mismos resultados se reflejan al interpolar los valores de I_D en el figura de curvas de nivel, figura 3.97, dónde el óptimo de temperatura máxima quedaría entorno a los 20°C y el mínimo de 15°C , es decir, sin llegar a los 25°C del tratamiento y los 15°C de mínima del tratamiento de esta condición alterna.

La figura 3.95 (der.) corresponde al análisis ANOVA para el índice ponderado del porcentaje de germinación y la velocidad de germinación. También muestra tres grupos, donde los mejores resultados se obtienen para 20°C y $25/15^{\circ}\text{C}$, los peores a $30/20^{\circ}\text{C}$ y $40/20^{\circ}\text{C}$, y un tercer grupo en medio con el resto de temperaturas.

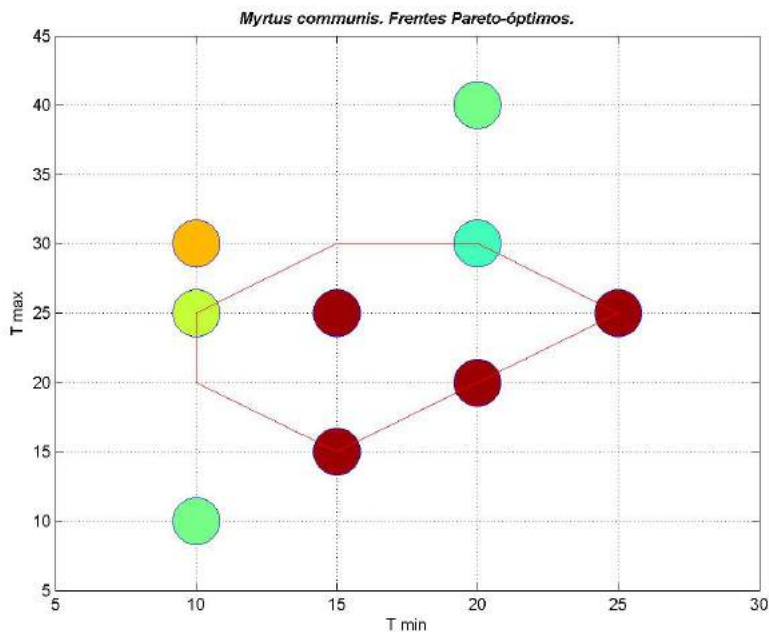
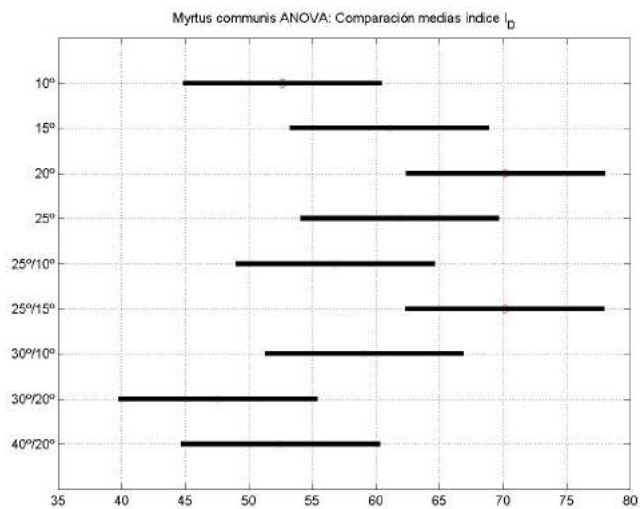


Fig. 3.94: *Myrtus communis*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

<i>Myrtus communis</i>		
Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	52.65	3.65
15°	61.06	8.38
20°	70.19	2.01
25°	61.86	1.42
25°/10°	56.80	4.03
25°/15°	70.14	7.49
30°/10°	59.06	3.74
30°/20°	47.58	8.69
40°/20°	52.49	6.32

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.95: *Myrtus communis*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

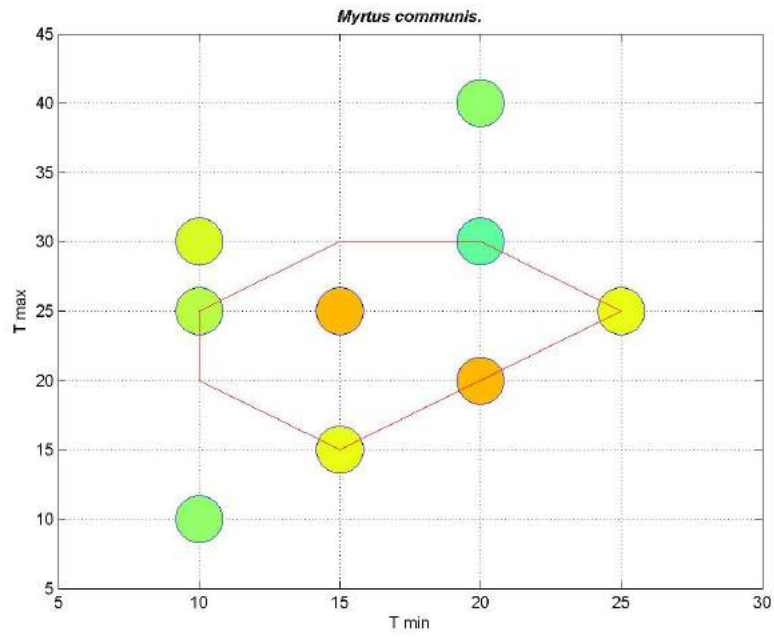


Fig. 3.96: *Myrtus communis*. Representación gráfica de I_D .

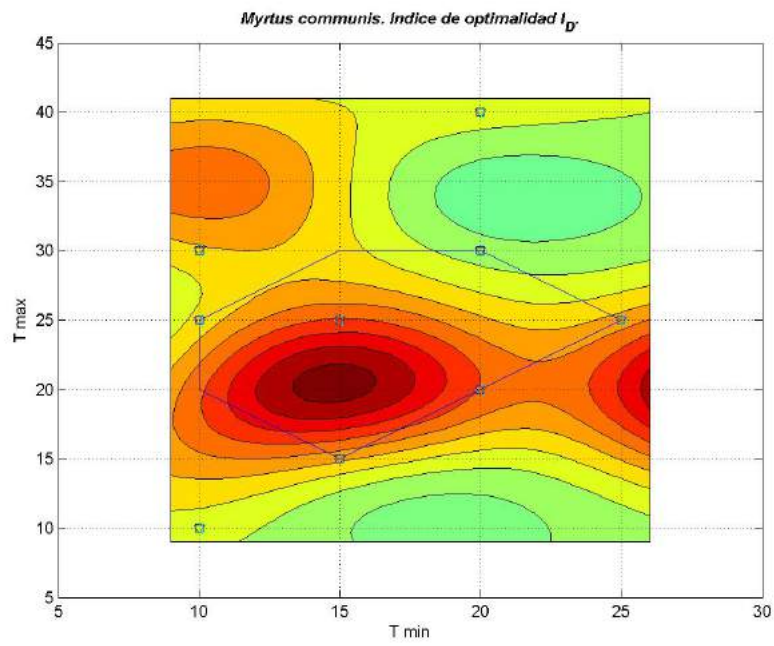


Fig. 3.97: *Myrtus communis*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

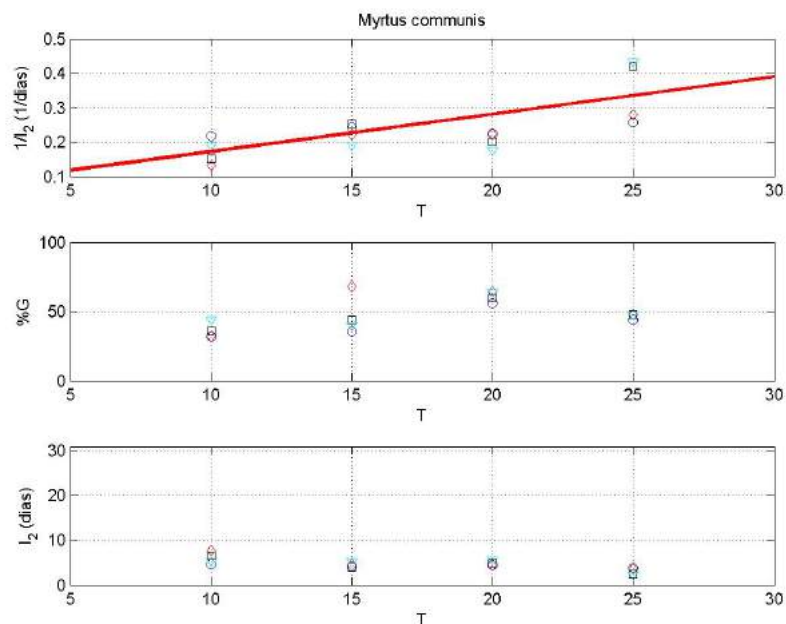


Fig. 3.98: *Myrtus communis*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

En los tres análisis ANOVAS se puede observar que la desviación típica es grande para todos los tratamientos y que por tanto se solapan unos grupos con otros de forma escalonada. Por tanto siendo rigurosos sólo se puede decir que hay diferencia entre el mejor y el peor grupo de los tres, pero no entre dos consecutivos. Ciertamente, en este último caso se observa una ligera diferencia que tiene un cierto grado de significación estadística. De los tres análisis, el referido al porcentaje y velocidad de germinación, la desviación típica de los datos es pequeña frente a la que presentan los otros dos análisis. Quizá pueda deberse a que es una semilla que se contamina muy fácilmente por hongos en la placa y necesite un tratamiento con el fin de eliminar las posibles esporas además del tratamiento de escarificado con ácido sulfúrico.

En la gráfica 3.98 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de -5.84°C . El valor de S, el tiempo térmico o constante termal, es 91.92°C dia . Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas sube hasta alcanzar un óptimo a 20°C . La pendiente del I_2 y el valor del I_2 presentan un valor bajo.

3.2.15. *Ephedra distachya* L.

En la gráfica que muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación, figura 3.99 (arr.), se ve un patrón de respuesta similar a todas las temperaturas, con un retraso inicial de 4-6 días. Los mejores porcentajes alcanzados son para 30/10°C , 15°C y 25/10°C y los peores para 10°C , 20°C y 25°C .

En la representación del porcentaje de germinación *vs.* el índice de velocidad de germinación (I_2), figura 3.99 (baj.), se aprecia en general dispersión de datos, tanto para el porcentaje de germinación como para el índice de velocidad de germinación. En todas las condiciones del barrido de temperaturas hay una germinación entre el 10-50 % y un índice de velocidad de germinación que abarca mayor rango de valores, de 45 a 80.

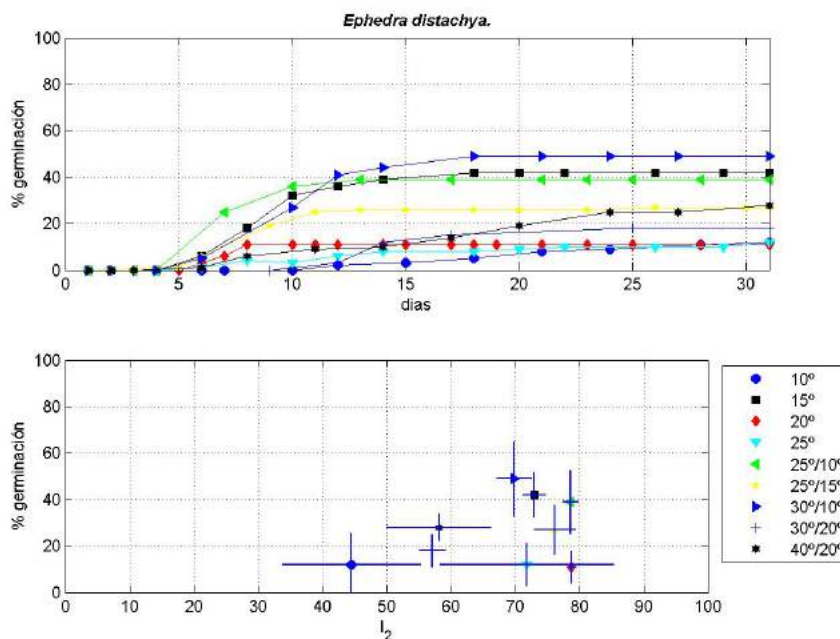


Fig. 3.99: *Ephedra distachya*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje de germinación medio para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje de germinación final medio *vs.* I_2 .

La tabla 3.15 se muestra los datos de medias y desviaciones típicas representadas en la gráfica 3.99 (izq.) y los resultados del test de Lilliefors.

El análisis ANOVA de los resultados de porcentaje de germinación, figura 3.100 (der.), muestra tres grupos significativamente diferentes: el mejor con 15°C , 25/10°C y 30/10°C , el peor con las temperaturas constantes 10°C , 20°C y 25°C ,

<i>Ephedra distachya</i>						
Temperaturas	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
10°	12.00	13.47	44.56	10.72	0	1
15°	42.00	9.52	73.01	1.75	0	1
20°	11.00	6.83	78.82	0.64	0	1
25°	12.00	9.24	71.82	13.50	0	0
25°/10°	39.00	13.61	78.64	1.21	0	0
25°/15°	27.00	10.52	76.15	3.15	0	0
30°/10°	49.00	16.12	69.81	2.73	0	0
30°/20°	18.00	6.93	57.11	1.95	0	0
40°/20°	28.00	5.66	58.12	8.03	0	0

Tabla 3.15: *Ephedra distachya*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones de temperatura: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

y el resto con una respuesta intermedia. Entre el grupo con los mejores resultados y el grupo con los peores no hay solapamiento.

El análisis ANOVA para el índice de velocidad de germinación, figura 3.100 (izq.), muestra también tres grupos significativamente diferentes: el peor para los 10°C, uno intermedio para 30/20°C y 40/20°C, y el mejor grupo para el resto de temperaturas. Los grupos que se generan en ambos análisis ANOVA no son idénticos. Es decir, el efecto de diferentes condiciones de temperatura no es el mismo sobre el porcentaje que sobre la velocidad de germinación. No obstante, si se observa algún patrón común. Así, 10°C pertenece en ambos casos al grupo de peores resultados y, por otro lado, 30/20 y 40/20°C pertenecen en ambos casos al grupo de resultados intermedios.

La figura que representa los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación, 3.101, indica que hay cuatro condiciones buenas: 30/10°C, 25/10°C, 15°C y 20°C. Hay un grupo de resultados intermedios con las condiciones 25/15°C y 40/20°C. Las peores condiciones son 10°C, 30/20°C y 25°C.

Finalmente, los valores representados en la figura en el que se muestra el índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de crecimiento, figura 3.103 y tabla 3.15, se aprecia que la mejor condición es la de 30/10°C, seguida de 25/10°C y 15°C. En el figura de curvas de nivel, tabla 3.102 (izq.) y figura 3.104, correspondiente al índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, se aprecia que la mejor condición es un máximo entre 25-30°C y un mínimo de 10°C. Esta región de mejores condiciones de germinación corresponde a tempera-

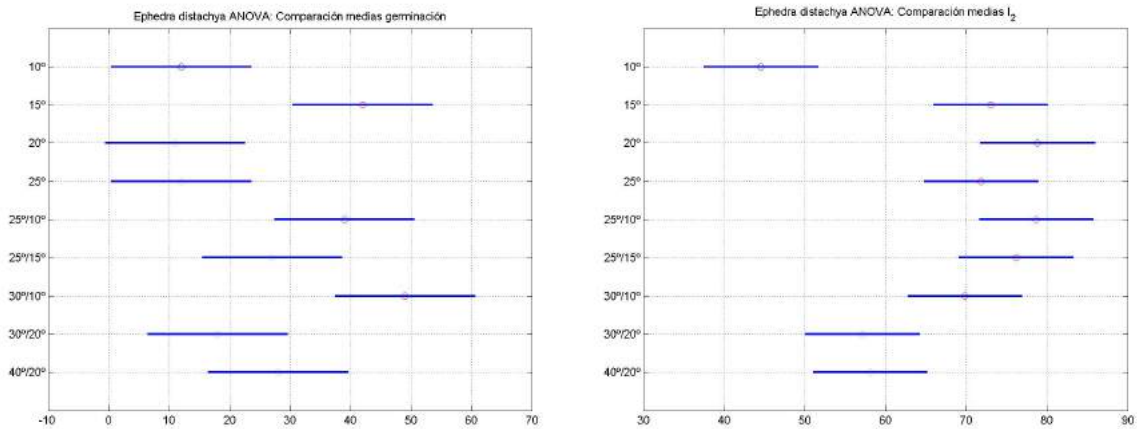


Fig. 3.100: *Ephedra distachya*. Análisis ANOVA: del %G (izq.) y de I_2 (der.).

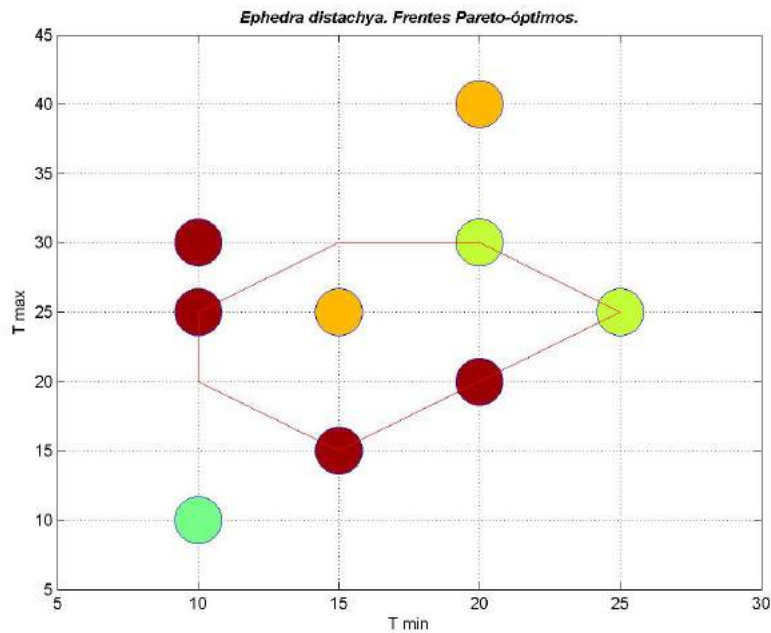


Fig. 3.101: *Ephedra distachya*. Frentes Pareto-óptimos de %G y de I_2 .

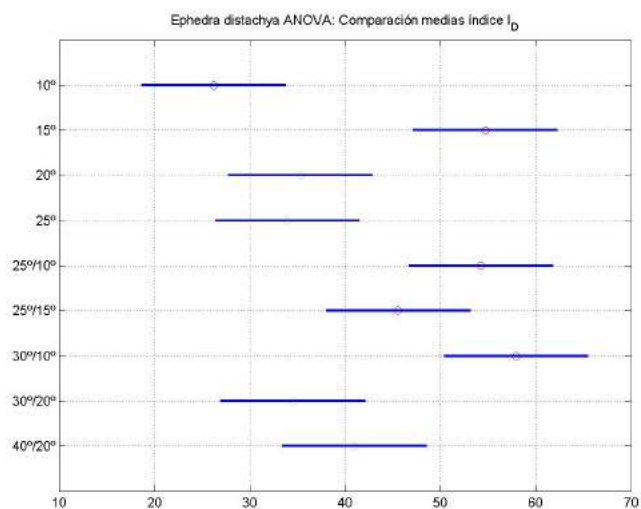
turas medias bajas, con preferencia además por fuerte diferencia entre la mínima y la máxima. El frente Pareto-óptimo también corresponde a temperaturas medias bajas.

Por otro lado, el análisis ANOVA del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, figura 3.102 (der.), muestra varios grupos significativamente diferentes: el peor para 10°C , después el grupo de temperaturas de 20°C , 25°C 30/20°C y 40/20°C , y por último, un grupo que incluye 15°C ,

Ephedra distachya

Temperaturas	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
10°	26.19	8.52
15°	54.67	5.11
20°	35.30	3.98
25°	33.96	2.84
25°/10°	54.23	8.01
25°/15°	45.57	5.62
30°/10°	57.91	9.22
30°/20°	34.49	3.15
40°/20°	40.96	4.38

I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.



Análisis ANOVA de I_D

Fig. 3.102: *Ephedra distachya*. Resultados de I_D : (izq.) media y desviación típica, (der.) análisis ANOVA.

25/10°C y 30/10°C y también 25/15°C que es el peor de este grupo. En todos los casos, hay solapamiento entre en grupo y los consecutivos anterior y posterior.

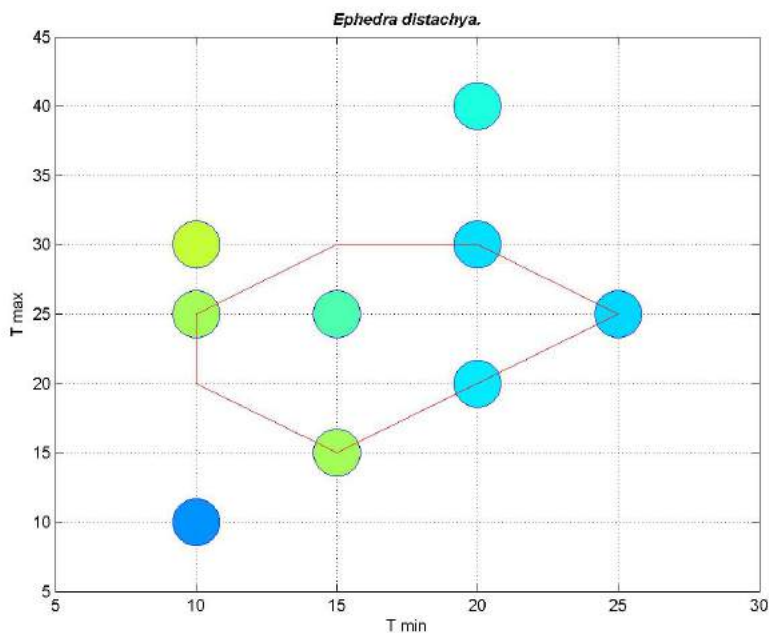


Fig. 3.103: *Ephedra distachya*. Representación gráfica de I_D .

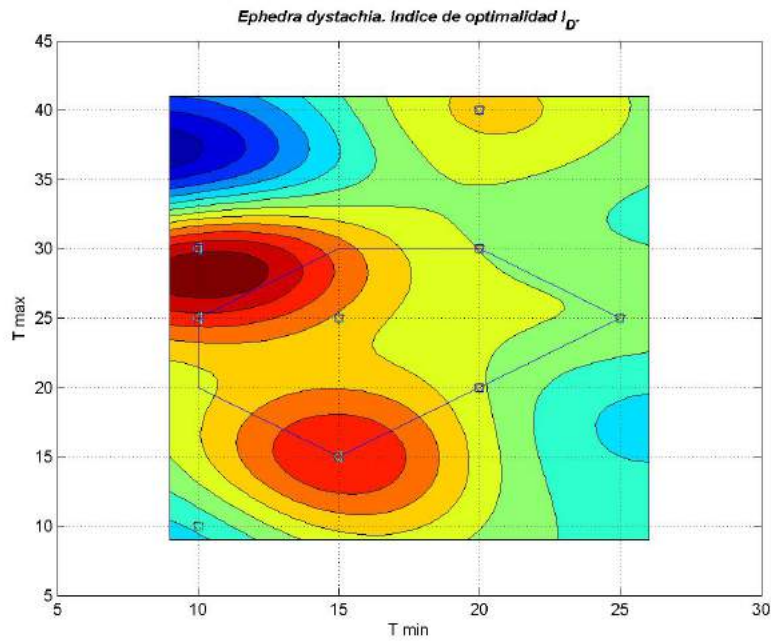


Fig. 3.104: *Ephedra distachya*. Curvas de nivel correspondientes a la interpolación de los valores de I_D .

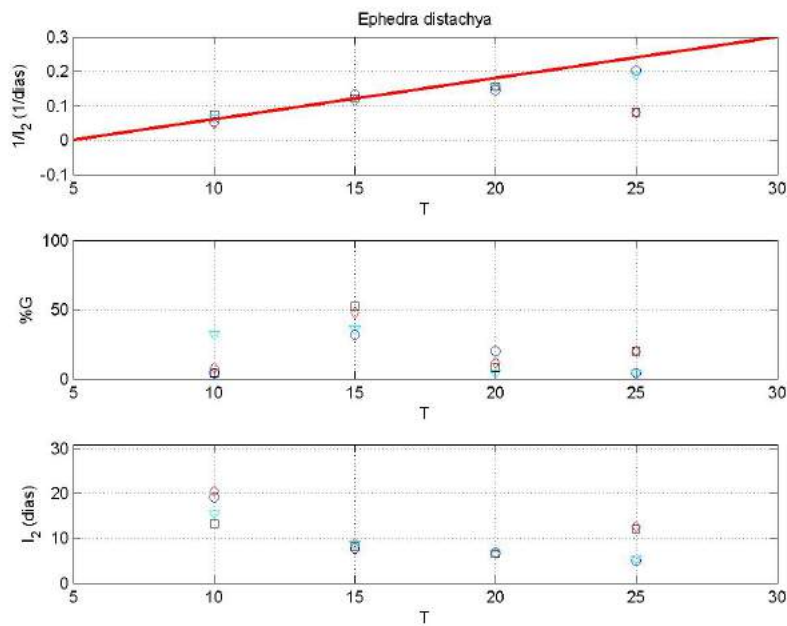


Fig. 3.105: *Ephedra distachya*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo de la temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S)), porcentajes de germinación e I_2 (desnormalizado y expresado en días para la germinación máxima).

En la gráfica 3.105 se representa la inversa del I_2 vs. la temperatura. El valor obtenido para la temperatura base, T_b , es de 5.01°C . El valor de S , el tiempo térmico o constante termal, es 83.33°C día. Se puede observar también que el porcentaje de germinación en estas temperaturas sube hasta alcanzar un óptimo a 15°C . La pendiente del I_2 y el valor del I_2 presentan un valor alto.

4 Barrido de concentraciones de sales. Resultados y análisis

4.1. Introducción

En este capítulo se analizan los datos obtenidos en barrido de concentraciones salinas por especies. La elección de la temperatura a la que se hizo la germinación a cinco concentraciones de cloruro sódico junto con un control, fue a partir de los resultados óptimos del barrido de temperaturas obtenidos en el capítulo 3. En dicho capítulo se obtienen como resultado una o varias condiciones de temperatura óptimas para la germinación.

4.2. Resultados y análisis por especies

4.2.1. *Cakile maritima* Scop.

En el tratamiento de tolerancia a la sal, el control obtuvo un resultado de casi un 85 % de germinación y un índice de velocidad de germinación, I_2 , cercano a 85, tabla 4.1.

En la gráfica que muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación, véase la figura 4.1 (arr.), se puede observar el mismo patrón de germinación tanto para el control como para 100 y 200 mM, con una disminución de porcentaje final conforme aumenta la concentración. Hubo un retardo de tres días en el inicio de la germinación con el tratamiento de 300 mM. No se obtuvieron resultados para concentraciones de 400 y 500 mM. En los cuatro casos, en los cuales se obtuvieron resultados, los valores se estabilizaron a los diez días de comenzar el estudio de germinación. En la gráfica 4.1 (baj.) se muestra el porcentaje final de germinación vs. I_2 . Se puede ver que la especie puede llegar a germinar de manera aceptable con una concentración de sal de 100 y 200 mM. Para 100 mM el porcentaje de germinación es ligeramente superior a 60 y el índice de velocidad de germinación es de 80. Para los 200 mM los valores son menores, tabla 4.1, un 50 % aproximadamente en porcentaje de germinación y cerca de un 80 % por cuanto se refiere a velocidad de germinación. *Cakile maritima* consigue germinar también a 300 mM notándose

una dispersión de los resultados alta, principalmente para el I_2 . En este caso solo germina un 10% de las semillas con un I_2 cercano al 60.

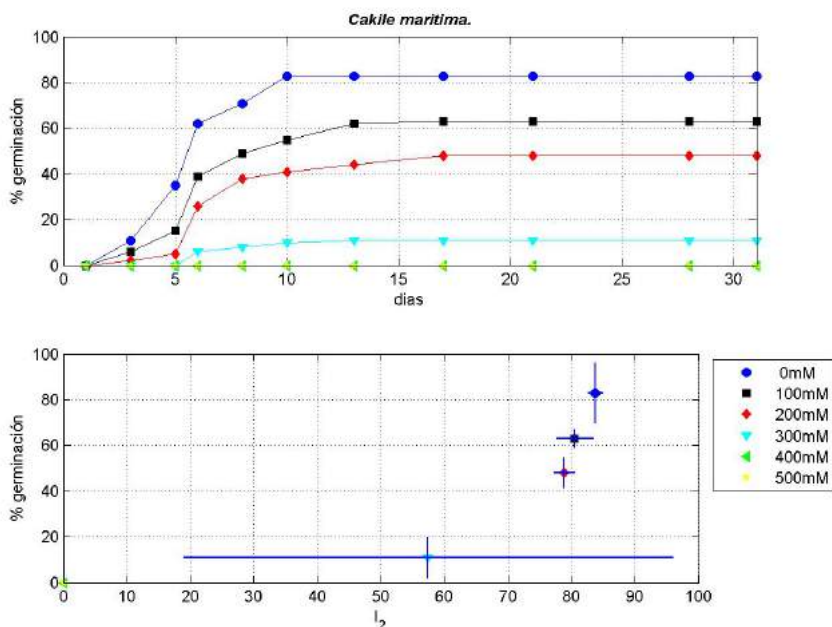


Fig. 4.1: *Cakile maritima*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

La figura 4.2 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Muestra dos grupos de resultados: uno con el control y 100, 200 y 300 mM, y otro con los 400 y 500 mM, sin germinación. Comparando los resultados de ambos análisis ANOVA, se aprecia que el aumento de concentración salina afecta de forma más pronunciada al porcentaje que a la velocidad de germinación.

La tabla 4.2 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación, I_D , frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.3 (der.). Se puede observar que hay un descenso progresivo de la respuesta a las diferentes concentraciones salinas, desde un valor ligeramente superior a 80 de dicho índice, hasta el valor 0 que aparece en las concentraciones de 400 y 500 mM.

La figura 4.3 (izq.) muestra el resultado del análisis ANOVA aplicado sobre las medias del índice I_D . Muestra que hay tres grupos significativamente diferentes: un

Cakile maritima

Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25/15°C , 0mM	83.00	13.22	83.74	1.15	0	0
25/15°C , 100mM	63.00	3.83	80.52	2.84	0	0
25/15°C , 200mM	48.00	6.53	78.88	1.59	0	0
25/15°C , 300mM	11.00	8.87	57.41	38.51	0	1
25/15°C , 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25/15°C , 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.1: *Cakile maritima*. Porcentaje de germinación (%G) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

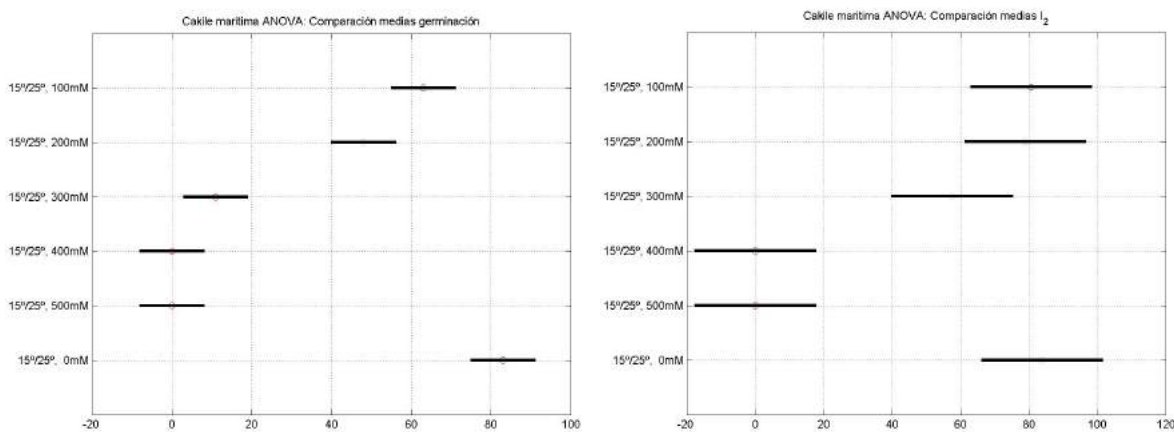


Fig. 4.2: *Cakile maritima*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentajes de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25/15°C , 0mM	82.22	5.93
25/15°C , 100mM	70.40	3.00
25/15°C , 200mM	60.24	3.87
25/15°C , 300mM	28.05	1.92
25/15°C , 400mM	0.00	0.00
25/15°C , 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.2: *Cakile maritima*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

grupo con el control, 100 y 200 mM, otro con la condición 300 mM y un tercer grupo con las condiciones 400 y 500 mM, a las cuales no hay germinación.

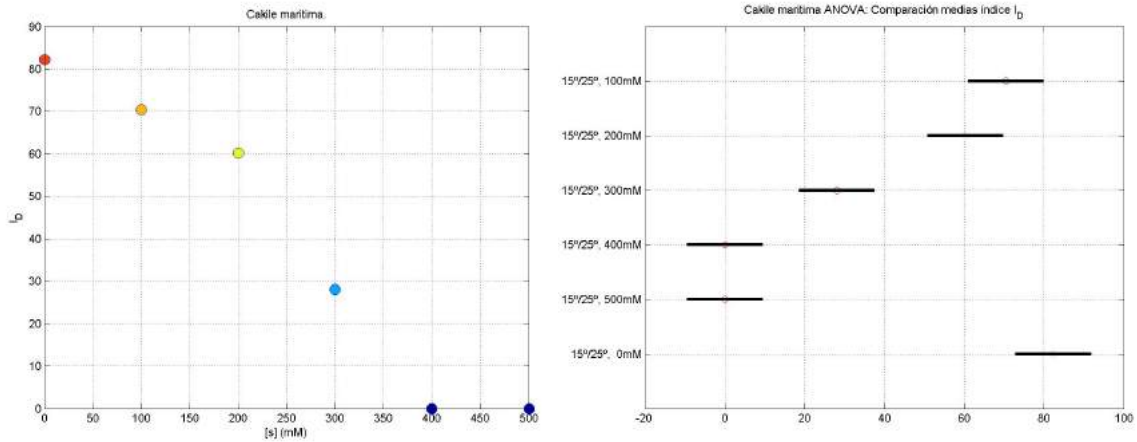


Fig. 4.3: *Cakile maritima*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

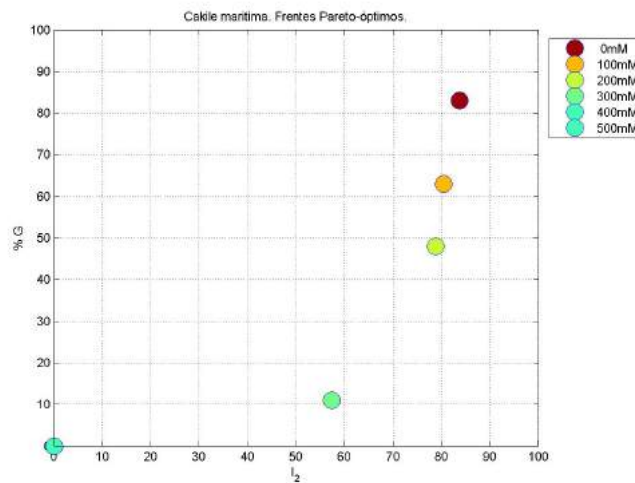


Fig. 4.4: *Cakile maritima*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

Finalmente, la figura 4.4 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización de velocidad y porcentaje de germinación. Se puede observar que la mejor condición, después del control, es 100 mM, seguido de 200 y luego 300 mM. En los puntos referentes a control, 100 y 200 mM se ve un descenso en el porcentaje de germinación, que pasa de un valor ligeramente superior a 80 en el control a casi la mitad con una concentración salina de 200mM, mientras que la velocidad de

germinación es prácticamente la misma en los tres casos. Para 300 mM el porcentaje de germinación ronda el 10 %, con una velocidad intermedia.

En la gráfica 4.5 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. Estos valores se ajustan mediante una regresión lineal a partir de la cual el valor obtenido para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -2,04$ MPa y el valor del hidrotiempo, es $\Theta = 9,40$ MPa día.

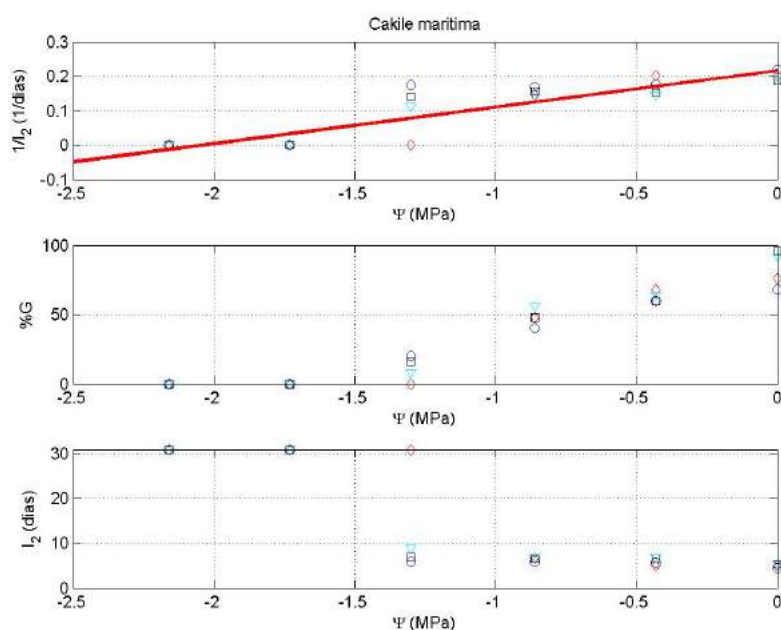


Fig. 4.5: *Cakile maritima*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.2. *Glaucium flavum* Crantz

En el caso del estudio de germinación frente a concentración salina, el control con agar dio un resultado de 100% de germinación y un índice de velocidad de germinación (I_2) similar al obtenido en el barrido de temperaturas.

La figura 4.6 (arr.) representa la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. En esta gráfica se observa un retardo de unos seis días para que comience la germinación tanto en control y como para 100 mM. Para 200 mM hay que esperar

cerca de 15 días y en los casos de 300 y 400 mM casi 25 días. La figura 4.6 (baj.) muestra el porcentaje de germinación vs. el índice de velocidad de germinación. Los valores de 100 mM son prácticamente iguales a los del control. Además, como se ve en la tabla 4.3 donde se muestran las medias y las desviaciones típicas, así como el resultado del test de Lilliefors, prácticamente no hay dispersión entre las cuatro muestras realizadas. A 200 mM germina un porcentaje entorno al 30 %, con un índice de velocidad de germinación inferior al 50. Estos valores son casi la mitad de los que se obtenían en el control y 100 mM y, además, presentan más dispersión en los datos. Esta especie también consigue germinar a 300 y 400 mM pero con un porcentaje del 5 %, y un índice de velocidad de germinación de 20. Para 500 mM no se consigue germinación alguna.

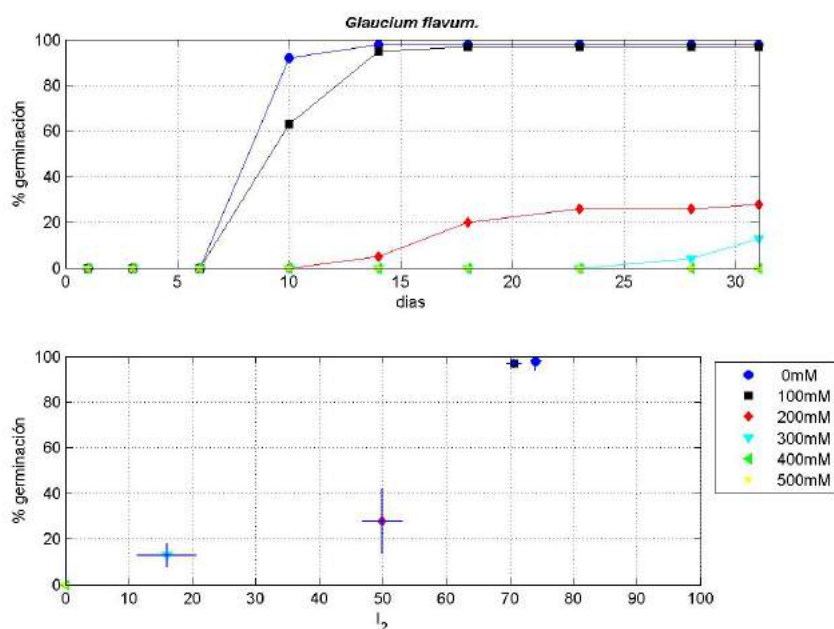


Fig. 4.6: *Glaucium flavum*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación vs. índice de velocidad de germinación (I_2).

La figura 4.7 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Este indica que hay cuatro niveles significativamente diferentes. Uno con el control y 100 mM, un segundo con la condición 200 mM, un tercero con los 300 mM y un cuarto grupo con el resto de condiciones salinas.

Glaucium flavum

Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25/10°C , 0mM	98.00	4.00	74.09	0.84	1	0
25/10°C , 100mM	97.00	2.00	70.64	1.21	1	0
25/10°C , 200mM	28.00	14.24	49.85	3.15	0	0
25/10°C , 300mM	13.00	5.03	15.96	4.65	0	0
25/10°C , 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25/10°C , 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.3: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.7 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) en las distintas concentraciones salinas. Muestra cuatro niveles de significatividad: el primero con el control y 100, el segundo con 200 mM, el tercero con 300 mM, y el último con los 400 y 500 mM. En ambos análisis ANOVA coinciden los cuatro grupos significativamente diferentes.

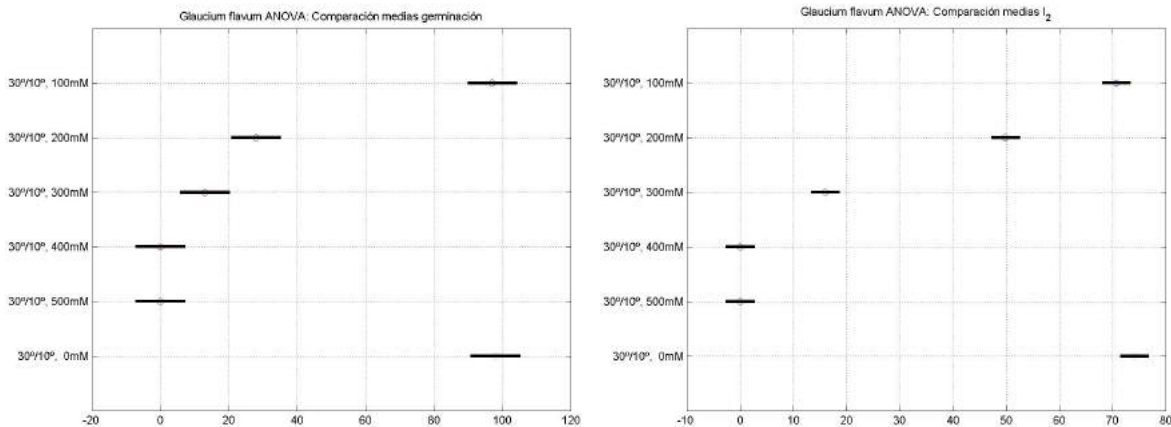


Fig. 4.7: *Glaucium flavum*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentajes de germinación a y velocidades de germinación b.

La tabla 4.4 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.8 (der.). Se puede observar que hay un descenso brusco tras la condición 200 mM, para la cual el índice se reduce a la mitad respecto a la

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25/10°C , 0mM	81.47	7.97
25/10°C , 100mM	79.09	9.14
25/10°C , 200mM	37.72	8.16
25/10°C , 300mM	14.41	2.98
25/10°C , 400mM	0.00	0.00
25/10°C , 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.4: *Glaucium flavum*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

condición anterior. Lo mismo ocurre en el paso de 200 mM a 300 mM. Para 400 y 500 mM no hay germinación.

La figura 4.8 (izq.) muestra el análisis ANOVA para el índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación. El resultado refuerza los comentarios ya hechos.

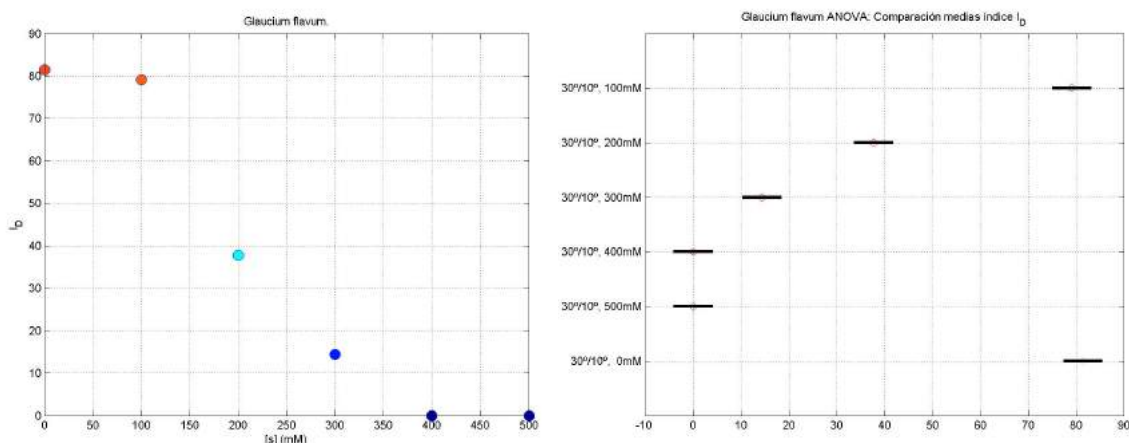


Fig. 4.8: *Glaucium flavum*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

Finalmente, la figura 4.9 muestra los frentes Pareto-óptimos. Se puede observar que la mejor condición, después del control, es 100 mM. Realmente los resultados para 100 mM son prácticamente iguales que para el control. Si hay mucha diferencia con los resultados de tolerancia a 200 mM. En esta condición la velocidad de germinación disminuye bruscamente, y el porcentaje de germinación es de 28. Para 300 mM se obtienen unos valores muy bajos tanto de velocidad de germinación como de porcentaje de germinación. A 400 y 500 mM no hay germinación.

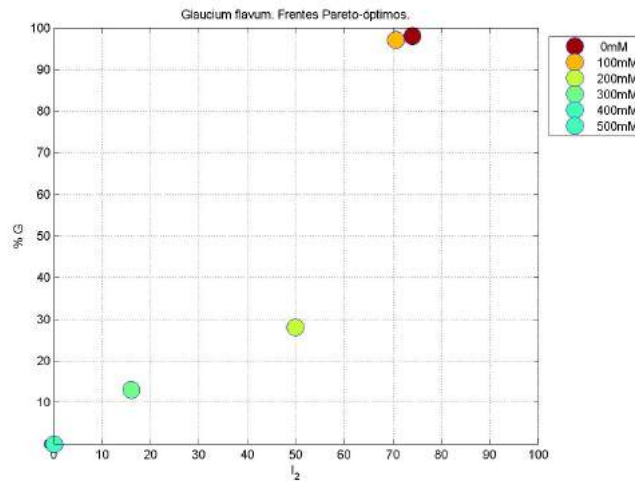


Fig. 4.9: *Glaucium flavum*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

En la gráfica 4.10 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido para el potencial osmótico base, a partir de la recta de regresión resultante, es de $\Psi_b = -1,78$ MPa. El valor hidrotiempo, expresado como Θ , potencial osmótico-día, es 13.50 MPa día.

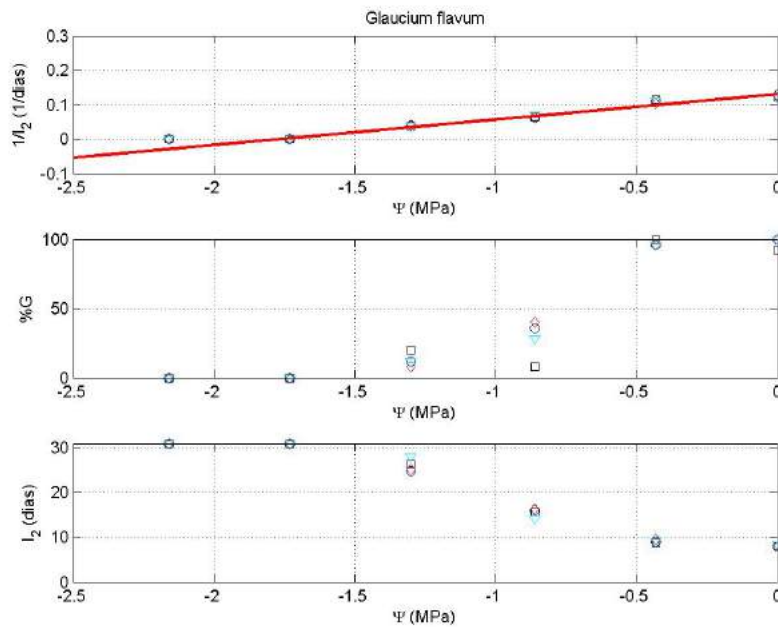


Fig. 4.10: *Glaucium flavum*. Cálculo del potencial osmótico

4.2.3. *Elymus farctus* Runemark ex Melderis

En la gráfica 4.11 (arr.) se muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. En esta gráfica el patrón de germinación es similar, ya que siempre existe un periodo de latencia de unos días para el comienzo de la germinación, periodo que aumenta de forma directamente proporcional a la concentración salina. Así, en el control y 100 mM la germinación se inicia tras cuatro días, mientras que en 400 mM la germinación comienza después de quince días de incubación. En la representación del porcentaje de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación, véase la figura 4.11 (baj.). A 200 mM el porcentaje de germinación desciende al 80% y el índice de velocidad de germinación tiene un valor de 71. A 300 mM hay un descenso tanto en el porcentaje de germinación como en el índice de velocidad de germinación cuyos valores son de 50% y 62 respectivamente. Por último a 400 mM consigue germinar un 28% con un índice de velocidad de germinación de 45, y además los datos presentan bastante dispersión. A 500 mM no hay germinación.

La tabla 4.5 muestra las medias y desviaciones típicas referentes a la figura 4.11 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

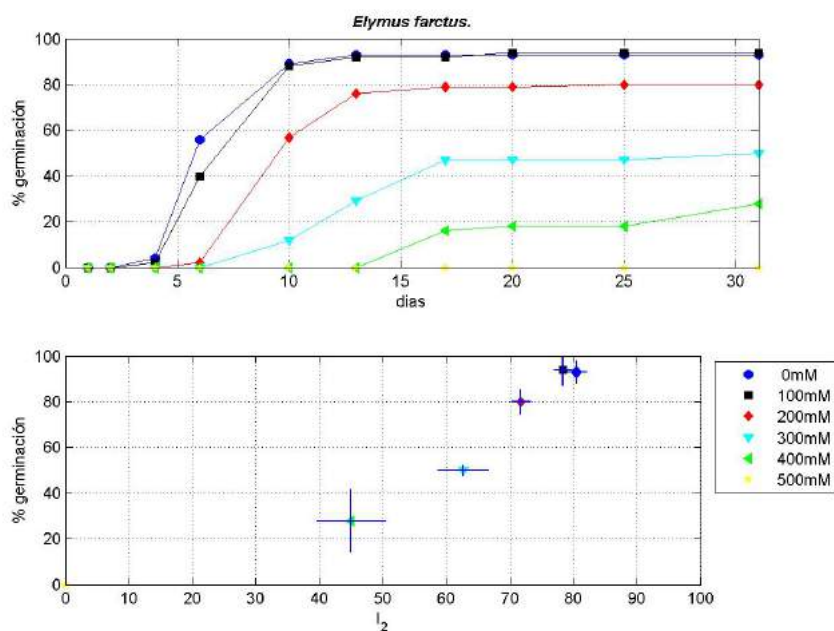


Fig. 4.11: *Elymus farctus*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Elymus farctus</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
15°, 0mM	93.00	5.03	80.48	1.59	0	0
15°, 100mM	94.00	6.93	78.40	1.38	0	0
15°, 200mM	80.00	5.66	71.74	1.44	0	0
15°, 300mM	50.00	2.31	62.63	3.96	0	0
15°, 400mM	28.00	13.86	45.02	5.50	0	0
15°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.5: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.12 (der.) muestra los resultados del análisis ANOVA aplicado sobre los valores de porcentaje de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Estos indican que hay cinco grupos significativamente diferentes: La figura 4.12 (izq.) muestra los resultados del análisis ANOVA aplicado sobre las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) en las distintas concentraciones salinas. Muestra los mismos cinco grupos diferentes de resultados: un primer grupo con el control y 100 mM, el segundo con la condición 200 mM, el tercero con la condición 300 mM, el cuarto con la de 400 mM y el quinto con 500 mM.

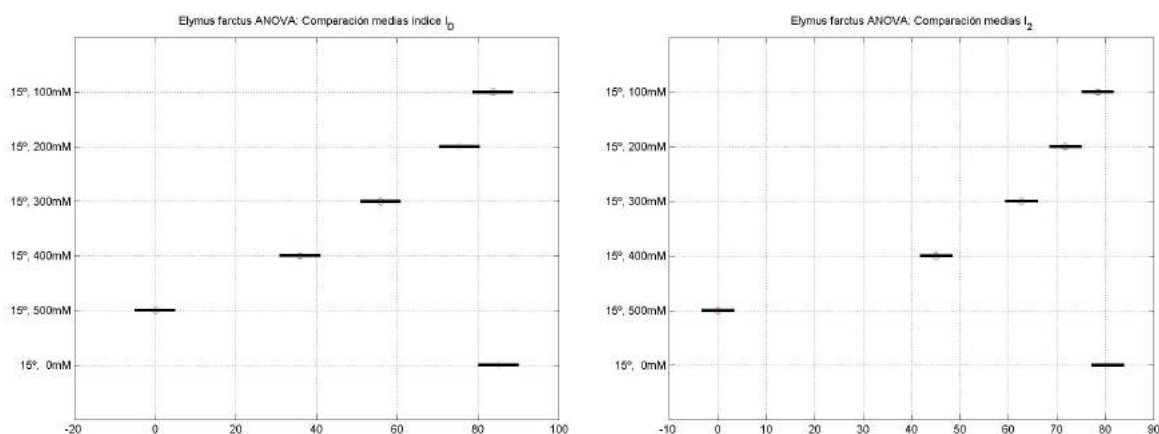


Fig. 4.12: *Elymus farctus*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentajes de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

La tabla 4.6 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
15°, 0mM	85.07	1.91
15°, 100mM	83.66	2.00
15°, 200mM	75.33	2.24
15°, 300mM	55.81	2.00
15°, 400mM	35.88	1.00
15°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.6: *Elymus farctus*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

se muestra en la figura 4.13 (der.). Se puede observar que hay un descenso gradual de la germinación en concentraciones de sal crecientes, desde un valor cercano a 85 de dicho índice, hasta el valor 0 que aparece en las concentración de 500 mM. La disminución es progresiva y, por extrapolación, quizá esta especie puede tolerar incluso 450 mM, si bien con porcentajes de germinación bajos y con largos periodos de latencia.

La figura 4.13 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra los mismos grupos que los dos análisis ANOVA anteriores.

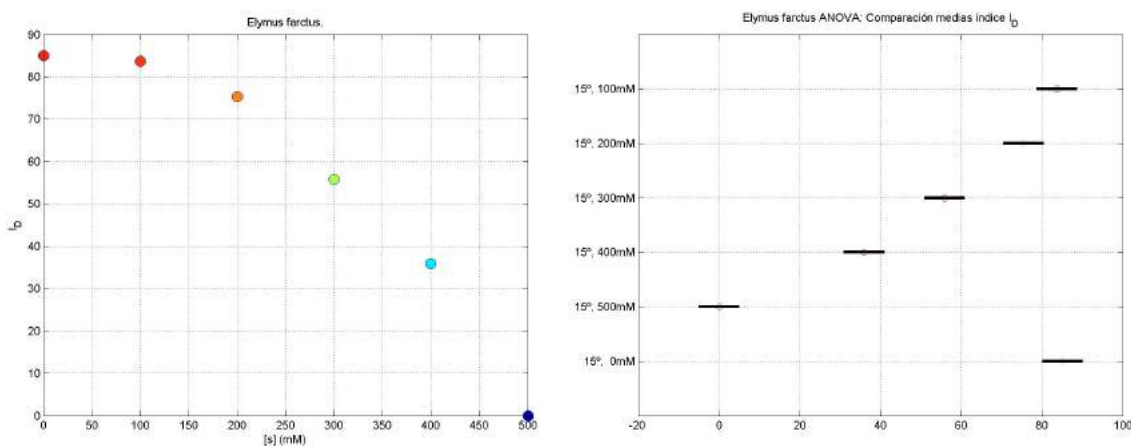


Fig. 4.13: *Elymus farctus*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

Finalmente, la figura 4.14 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización no ponderada de porcentaje y velocidad de germinación. Se puede observar que las mejores condiciones son el control y 100 mM, con un porcentaje

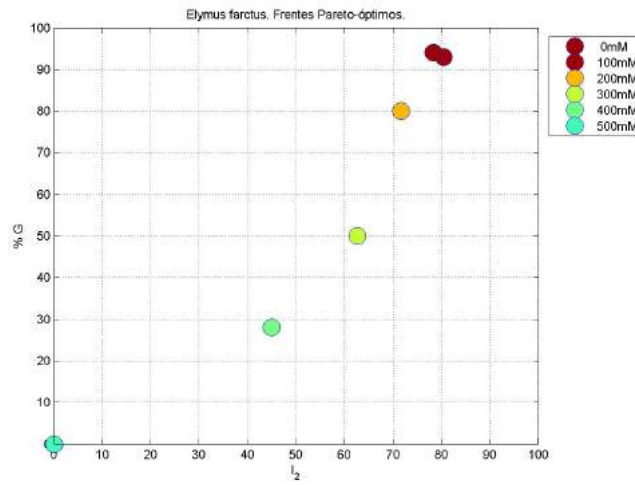


Fig. 4.14: *Elymus farctus*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

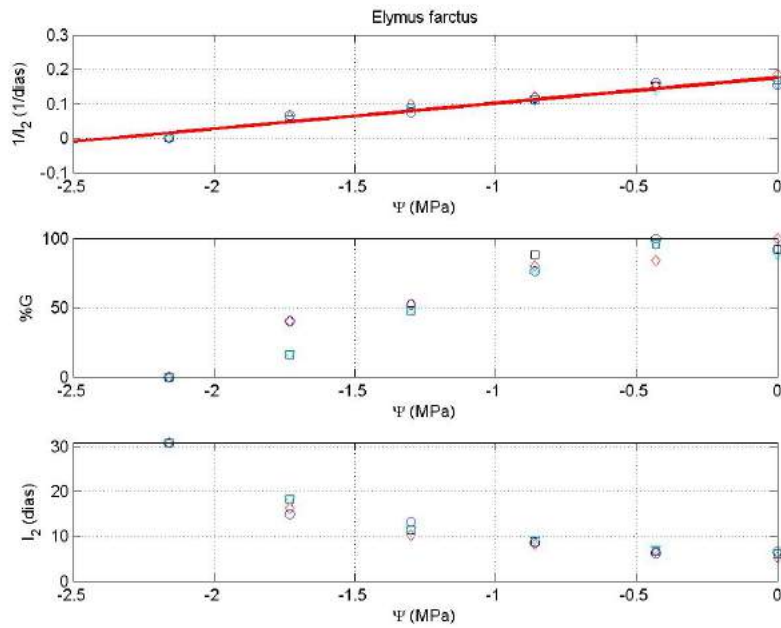


Fig. 4.15: *Elymus farctus*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

de germinación entorno al 80 y una velocidad de germinación superior a 90. Para la condición 200 mM el porcentaje es superior a 70 con una velocidad de germinación de 80. En la condición 300 mM el porcentaje es superior a 60 con una velocidad de germinación de 50. Para la condición de 400 mM el porcentaje es de 45 y la velocidad cercana a 30. Para 500 mM no hay germinación.

En la gráfica 4.15 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido para el potencial osmótico base, a partir del ajuste de una recta de regresión, es de $\Psi_b = -2,37$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 13,40$ MPa día.

4.2.4. *Calystegia soldanella* R.Br.

La figura 4.16 (arr.) muestra la evolución del porcentaje de germinación en el tiempo. Se observa un patrón similar para 100 y 200 mM pero con un retraso mayor conforme aumenta la concentración salina, siendo en 200 mM de cuatro días.

La insignificante germinación a 300 y 400 mM comienza después del décimo día. La figura 4.16 (baj.) muestra el porcentaje de germinación *vs.* velocidad de germinación, en 4.16 (arr.) se puede observar que el control da un resultado de un porcentaje de germinación de 96 y un índice de velocidad de germinación de 89. Con una concentración salina de 100 mM se llega a los mismos valores de porcentaje de germinación que el control pero con un índice de velocidad de germinación algo menor, de 96 y 84 para la velocidad. A 200 mM todavía se alcanzan resultados elevados tanto de porcentaje de germinación, un 87% y el índice de velocidad de germinación es de 73. La especie consigue germinar a 300 y 400 mM pero con resultados significativamente peores. A 500 mM no se consigue germinación. Al igual que en casos anteriores se observa como al aumentar la concentración salina es el índice de velocidad el que desciende de forma más significativa en primer lugar. Este descenso es debido, fundamentalmente, a un mayor periodo de latencia. A partir de una concentración salina superior a 200 mM desciende también bruscamente el porcentaje de germinación. También, al igual que en casos anteriores, se observa como la dispersión de los resultados aumenta conforme se obtienen peores porcentajes de germinación e índice de velocidad. En esta especie, además, la desviación típica obtenida para el porcentaje de germinación es ligeramente mayor que en casos anteriores.

La tabla 4.7 muestra a las medias y desviaciones típicas referentes a la figura 4.16 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

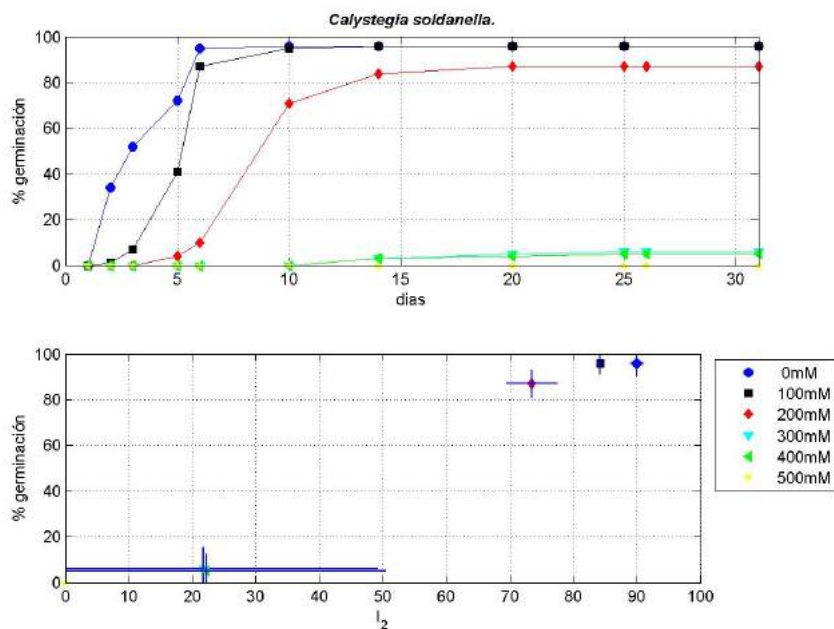


Fig. 4.16: *Calystegia soldanella*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación vs. índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Calystegia soldanella</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25°, 0mM	96.00	5.66	89.95	1.04	0	1
25°, 100mM	96.00	4.62	84.21	0.57	0	0
25°, 200mM	87.00	6.00	73.44	3.65	0	0
25°, 300mM	6.00	9.52	21.73	27.46	0	0
25°, 400mM	5.00	7.57	22.21	28.30	0	0
25°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.7: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.17 (der.) muestra los resultados del análisis ANOVA aplicado sobre los porcentajes de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica

que hay dos grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, 100 mM y 200mM, y un segundo grupo con el resto de condiciones.

La figura 4.17 (izq.) muestra los resultados del análisis ANOVA aplicado sobre el índice de velocidad de germinación a las distintas concentraciones salinas. Muestra igualmente los dos mismos grupos de resultados: uno con el control, 100 y 200 mM y, otro grupo con 300, 400 y 500 mM.

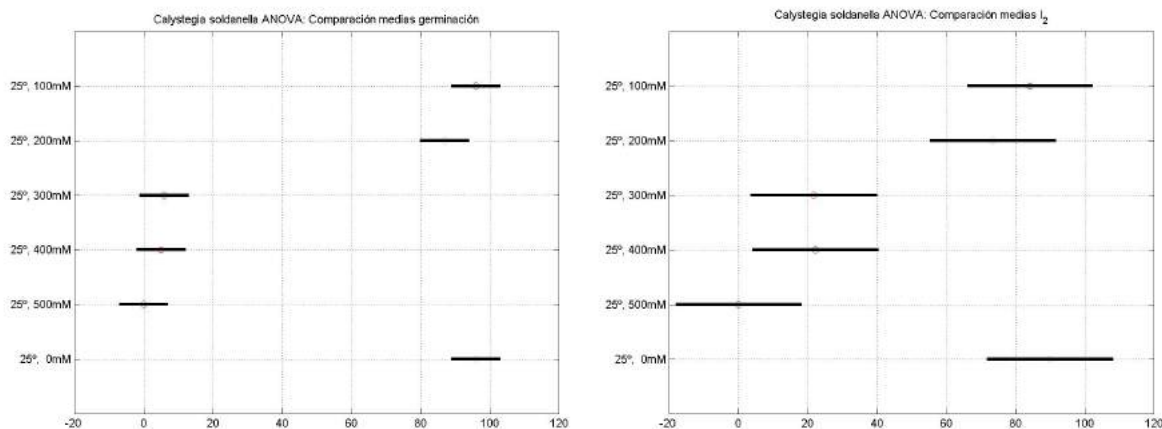


Fig. 4.17: *Calystegia soldanella*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°, 0mM	91.72	1.79
25°, 100mM	88.15	8.45
25°, 200mM	78.97	4.33
25°, 300mM	12.93	1.70
25°, 400mM	12.46	1.62
25°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.8: *Calystegia soldanella*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.8 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación I_D frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.18 (der.). Se puede observar también que hay dos grupos de valores muy diferenciados. El índice alcanza un valor de 90 en el control, un valor muy similar a 100 mM y un valor cercano a 80 a 200 mM. Después se

produce un gran descenso en el valor del índice para 300 y 400 mM, para las cuales el valor del índice es alrededor de 10. Es decir, un valor 8 ó 9 veces menor que el obtenido para el primer grupo de condiciones.

La figura 4.18 (izq.) muestra los resultados del análisis ANOVA aplicado sobre las medias del I_D , mostrando los mismos grupos significativamente diferentes que en los análisis anteriores.

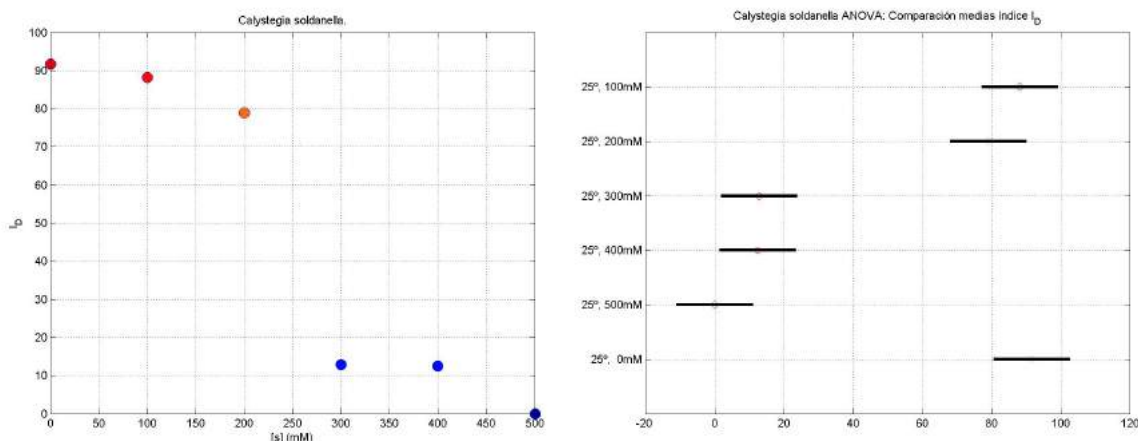


Fig. 4.18: *Calystegia soldanella*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

Finalmente, la figura 4.19 muestra los frentes Pareto-óptimos. Se puede observar que tanto el control como la condición 100 mM son las óptimas, con casi un 100 % de germinación y una velocidad de germinación entre 80-90. La condición de 200 mM presenta unos resultados ligeramente peores pero el gran descenso de la respuesta germinativa se puede observar en las condiciones de 300 y 400 mM. En estas condiciones el porcentaje de germinación no supera el 5 % y el índice de velocidad es de alrededor de 20.

En la gráfica 4.20 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido para el potencial osmótico base, a partir de la recta de regresión calculada, es de $\Psi_b = -1,89$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 6,79$ Mpa día.

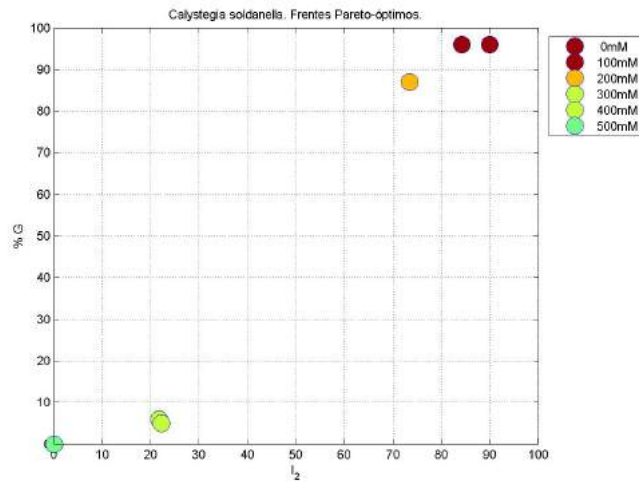


Fig. 4.19: *Calystegia soldanella*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

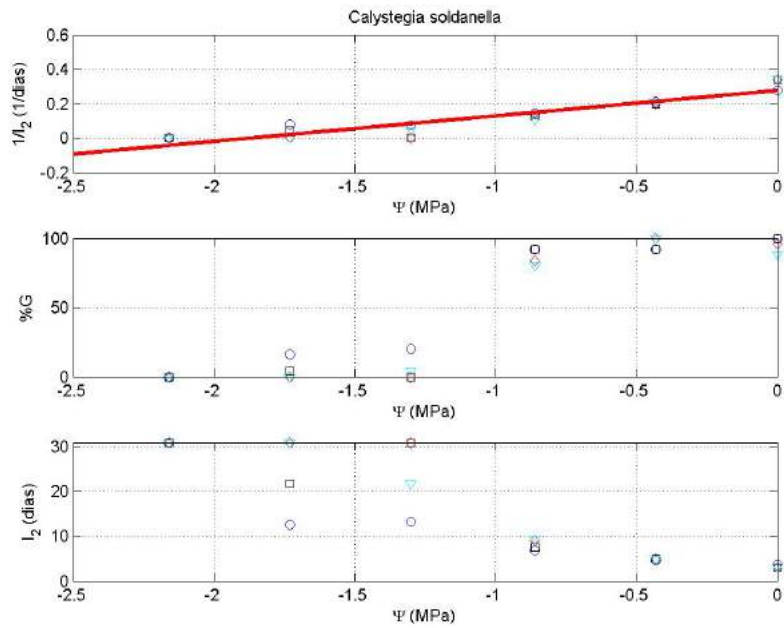


Fig. 4.20: *Calystegia soldanella*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.5. *Medicago marina* L.

En la evolución temporal para la germinación, figura 4.21 (arr.), se aprecia un patrón muy similar tanto para el control como para los valores de 100 y 200 mM. Para control y 100 mM se alcanza el máximo porcentaje de germinación alrededor de los cinco días y para los 200 mM ligeramente pasados los cinco días. La especie germinó con valores próximos al control a 100 mM, con un 88% y una velocidad de 92, figura 4.21 (baj.). A 200 mM también consiguió germinar pero con un porcentaje de germinación del 52%, y un índice de velocidad de 86.81, además de una alta desviación típica de los resultados experimentales en el caso del porcentaje de germinación. A 300, 400 y 500 mM no se obtuvo respuesta germinativa alguna.

La tabla 4.9 presenta los datos referentes a las medias y las desviaciones típicas de los datos representados en la figura 4.21 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

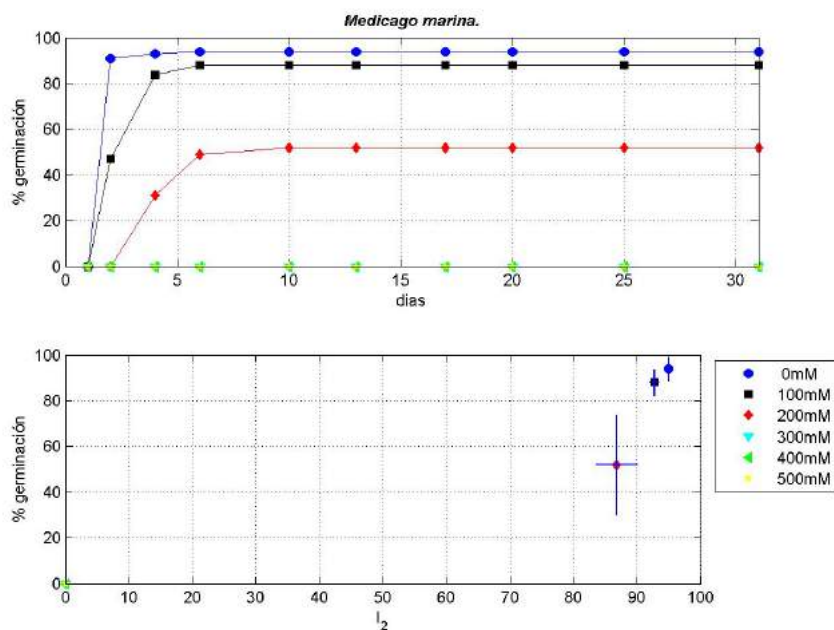


Fig. 4.21: *Medicago marina*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

La figura 4.22 (der.) muestra los resultados del análisis ANOVA que compara las medias del porcentaje de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el

<i>Medicago marina</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
20°, 0mM	94.00	5.16	95.00	0.27	0	0
20°, 100mM	88.00	5.66	92.77	0.75	0	1
20°, 200mM	52.00	21.91	86.81	3.31	0	0
20°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
20°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
20°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.9: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

control y 100 mM, un segundo grupo con la condición 200 mM, y un tercero con el resto de condiciones salinas, en las cuales no hay germinación.

La figura 4.22 (izq.) muestra los resultados del análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) en las distintas concentraciones salinas. Indica los mismos tres grupos de resultados: control y 100 mM, un segundo grupo con 200 mM y un tercer grupo con 300, 400 y 500 mM sin germinación.

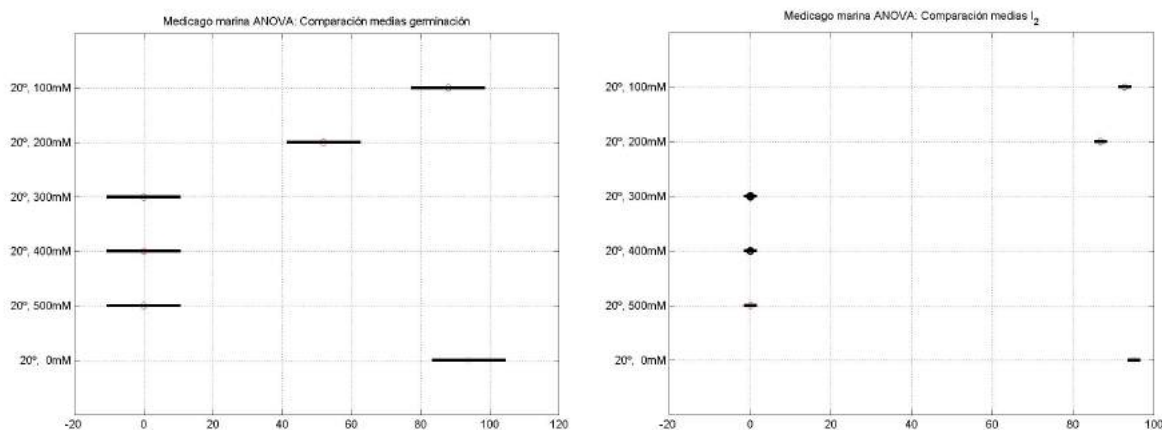


Fig. 4.22: *Medicago marina*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentajes de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

La tabla 4.10 muestra los datos del índice de optimalidad, I_D , de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.23 (der.). Se puede observar que hay un descenso progresivo de los valores a las diferentes concentraciones salinas, desde un

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
20°, 0mM	93.98	2.07
20°, 100mM	89.84	2.66
20°, 200mM	64.57	1.30
20°, 300mM	0.00	0.00
20°, 400mM	0.00	0.00
20°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.10: *Medicago marina*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

valor de 93 en el control de dicho índice, hasta el valor 0 que aparece en 300, 400 y 500 mM.

La figura 4.23 (izq.) muestra los resultados del análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra los mismos tres grupos significativamente diferentes, que en los análisis ANOVA anteriores.

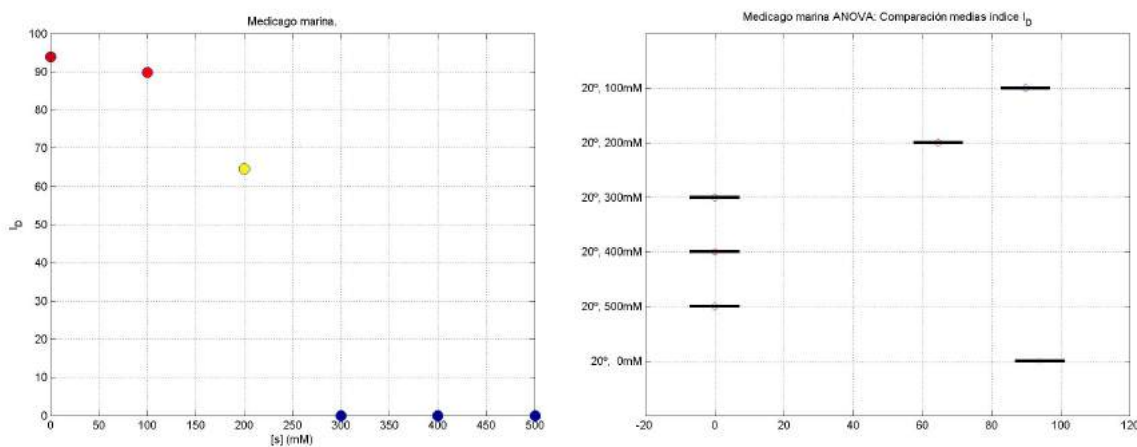


Fig. 4.23: *Medicago marina*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

La figura 4.24 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización no ponderada de porcentaje y velocidad de germinación. Se observa que la mejor condición, después del control, es 100 mM con unos valores muy similares al control tanto en velocidad de germinación como en porcentaje de germinación. A 200 mM, el porcentaje de germinación cae a la mitad, mientras que el índice de velocidad sólo desciende ligeramente. Es decir, en esta especie el porcentaje de ger-

minación es quien empieza a caer bruscamente conforme aumenta la concentración salina.

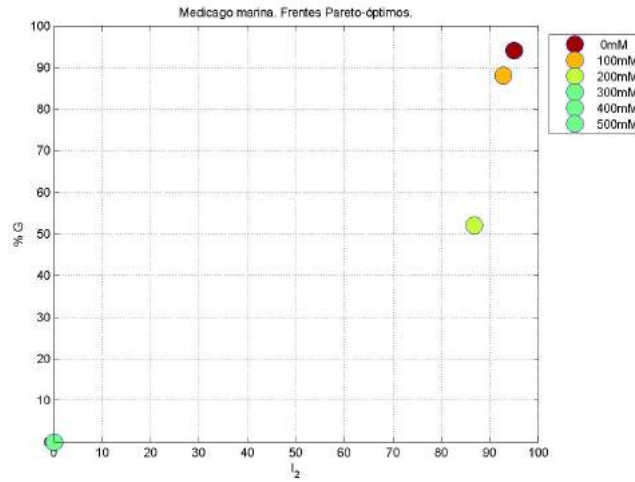


Fig. 4.24: *Medicago marina*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

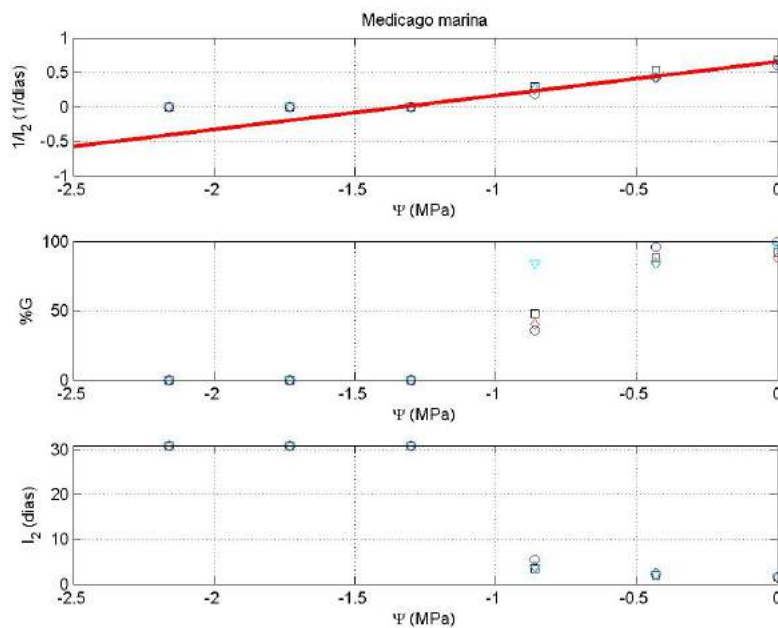


Fig. 4.25: *Medicago marina*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

En la gráfica 4.25 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación (I_2) expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación, expresada como potencial osmótico. El valor obtenido a partir de la recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,33$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 2,03$ MPa día.

4.2.6. *Lotus creticus* L.

En el tratamiento control con agar se alcanzan unos valores de 97 % de germinación y un índice de velocidad de germinación de 94.

La figura 4.26 (arr.) muestra la evolución de la germinación en el tiempo. Se observa que tanto el control como el tratamiento de tolerancia a 100 mM dan unos resultados iguales, y se llega al máximo porcentaje de germinación en los cinco primeros días, figura 4.26 (baj.). A 200 mM se alcanza un 90 de germinación con un índice de velocidad de germinación de aproximadamente 74, pero la respuesta germinativa comienza pasados cinco días, y alcanza el punto máximo a partir de los diez días. La especie llega a germinar a 300 mM pero con sólo un 12 % de germinación y un índice de velocidad de 31. A 400 y 500 mM no hay respuesta de germinación.

La tabla 4.11 presenta los datos numéricos de medias y desviaciones típicas representados en la figura 4.26 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

<i>Lotus creticus</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
20°, 0mM	97.00	3.83	94.91	0.81	0	0
20°, 100mM	97.00	2.00	92.05	0.81	1	0
20°, 200mM	90.00	5.16	74.06	1.68	0	0
20°, 300mM	12.00	14.24	31.24	36.27	0	0
20°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
20°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.11: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.27 (der.) muestra los resultados del análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Muestra dos grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, 100 y 200 mM

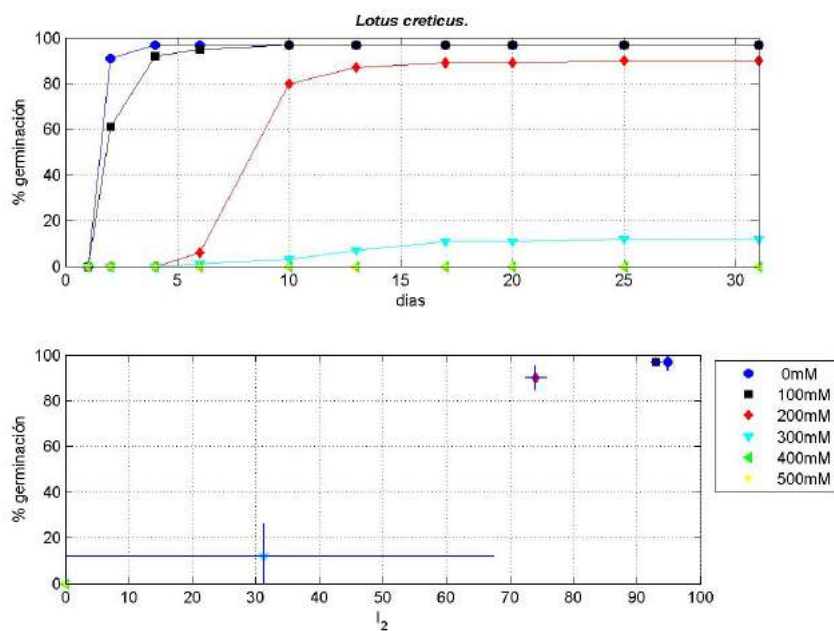


Fig. 4.26: *Lotus creticus*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

y un segundo grupo con el resto de condiciones. En este segundo grupo se incluye la condición 300 mM que si presenta germinación, junto con 400 y 500 mM a las cuales no hay germinación.

La figura 4.27 (izq.) muestra el análisis ANOVA aplicado a la comparación de las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a las distintas concentraciones salinas. Muestra tres grupos de resultados: uno con el control, 100 mM y 200 mM, otro con 300 y un tercero con 400 y 500 mM sin germinación.

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
20°, 0mM	95.36	1.40
20°, 100mM	94.54	8.87
20°, 200mM	80.16	2.26
20°, 300mM	20.02	2.33
20°, 400mM	0.00	0.00
20°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.12: *Lotus creticus*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

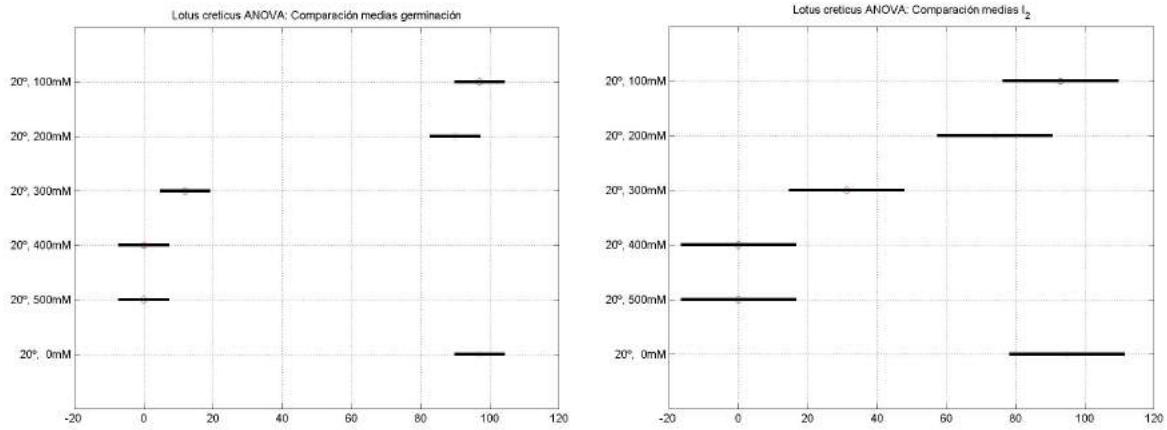


Fig. 4.27: *Lotus creticus*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación a y velocidades de germinación b.

La tabla 4.12 muestra los datos del índice de optimalidad, I_D . La figura 4.28 (der.) muestra la representación del índice de optimalidad, I_D , frente a concentración de sal. Se puede observar que hay un descenso brusco de la tolerancia a las diferentes concentraciones salinas, desde un valor de 95 en el control y en 100 M, hasta el valor 0 que aparece en las concentraciones de 400 y 500 mM. Para 200 mM el valor es de 80 y para 300 mM baja a 20.

La figura 4.28 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra tres grupos significativamente diferentes: uno con el control, 100 mM y 200 mM, otro con 300 y un tercero con 400 y 500 mM sin germinación.

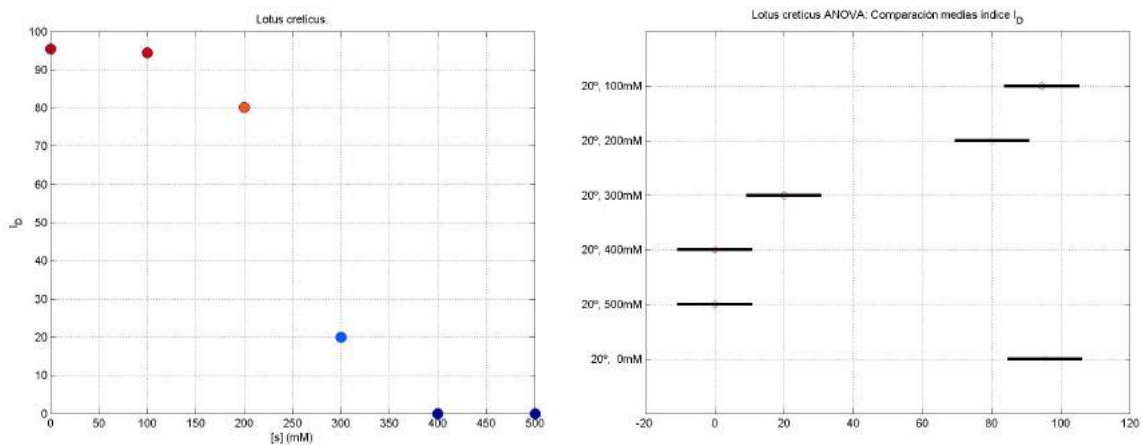


Fig. 4.28: *Lotus creticus*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

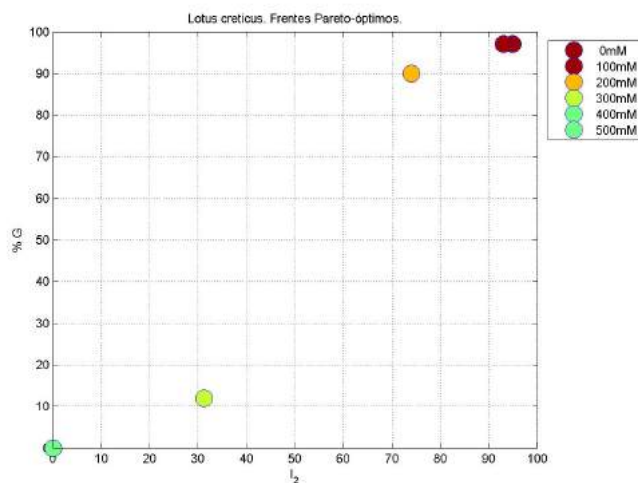


Fig. 4.29: *Lotus creticus*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

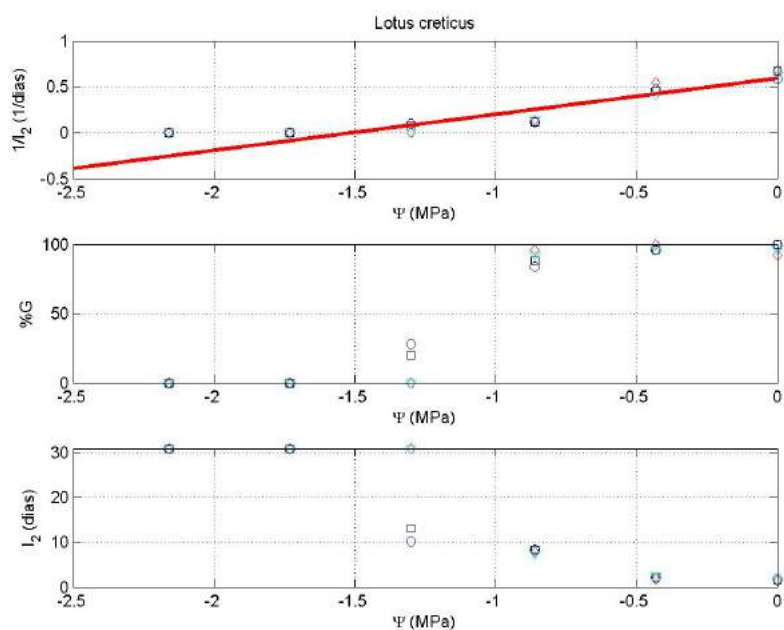


Fig. 4.30: *Lotus creticus*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

Finalmente, la figura 4.29 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización del porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es 100 mM junto con el control. En esta especie se observa como, conforme aumenta la concentración salina, desciende sobre todo la velocidad

de germinación con fuerza en primer lugar y, posteriormente lo hace también el porcentaje de germinación.

En la gráfica 4.30 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido a partir de la recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,51$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 2,55$ MPa día.

4.2.7. *Crucianella maritima* L.

En la figura 4.31 (arr.) se representa la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. Se observa un retardo de seis días para el control y la condición de 100 mM y un retardo de entre quince y veinte días para el tratamiento de 200 mM. Los patrones de las curvas son los mismos en las tres condiciones a las que hay germinación. La figura 4.31 (baj.) muestra como a 100 mM las semillas germinaron en un 77% y con un índice de velocidad de germinación (I_2) de 65. Consiguen germinar a 200 mM pero con un porcentaje de germinación del 25% y un índice de velocidad de germinación de 37.47, fundamentalmente debido a un periodo de latencia mucho mayor que en los dos casos anteriores. La dispersión de los resultados obtenidos es menor en el caso de esta especie que en el control y en la condición de 100 mM. Para los tratamientos de 300, 400 y 500 mM no se obtuvieron resultados.

La tabla 4.13 muestra los valores de las medias y las desviaciones típicas representadas en la figura 4.32 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

<i>Crucianella maritima</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
15°, 0mM	73.00	11.94	72.17	2.03	0	0
15°, 100mM	77.00	11.49	65.64	1.13	0	0
15°, 200mM	25.00	6.00	37.47	1.59	0	0
15°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
15°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
15°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.13: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

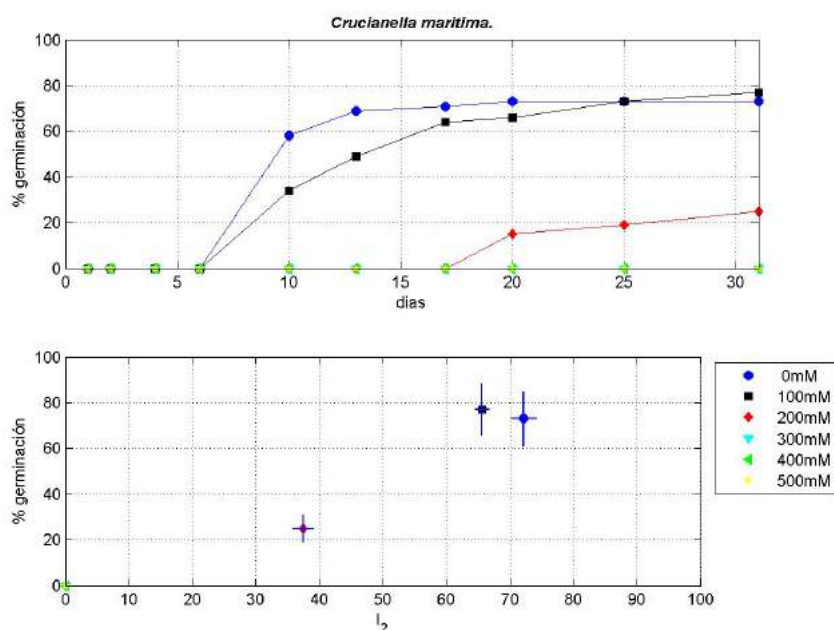


Fig. 4.31: *Crucianella maritima*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

La figura 4.32 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control y 100 mM, un segundo grupo con 200 mM, y un tercer grupo con el resto de condiciones salinas.

La figura 4.32 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a las distintas concentraciones salinas. Muestra cuatro grupos de resultados: control, 100 mM, 200 mM y el resto.

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
15°, 0mM	72.05	5.83
15°, 100mM	70.11	3.87
15°, 200mM	30.92	3.67
15°, 300mM	0.00	0.00
15°, 400mM	0.00	0.00
15°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.14: *Crucianella maritima*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

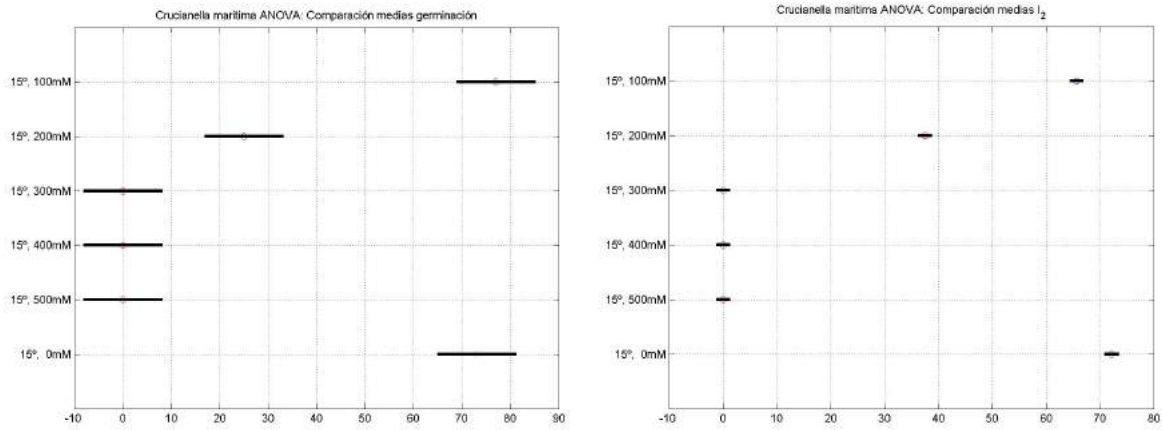


Fig. 4.32: *Crucianella maritima*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

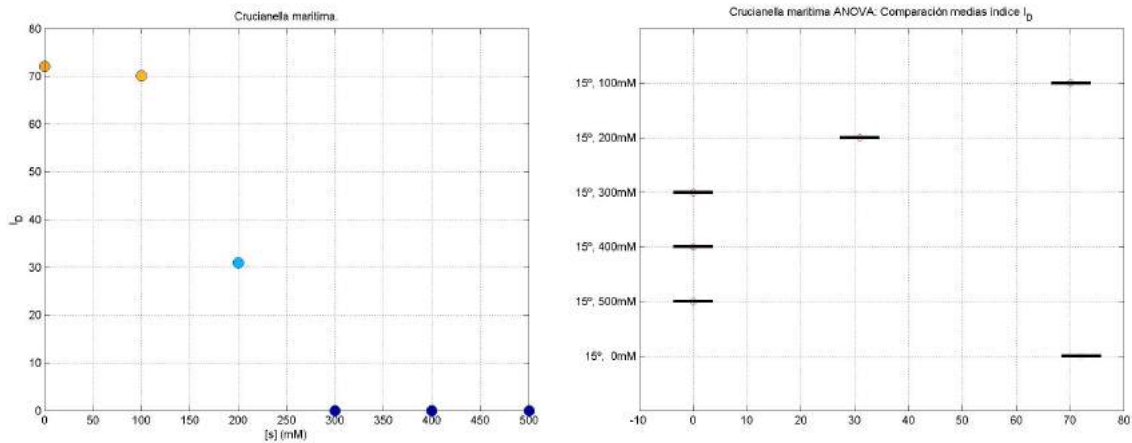


Fig. 4.33: *Crucianella maritima*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

La tabla 4.14 muestra los datos del índice de optimalidad, I_D , de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.33 (der.). Esta figura 4.33 (der.) muestra la representación del índice de optimalidad, I_D , frente a concentración de sal. Se puede observar que hay un descenso muy brusco en la tolerancia a las diferentes concentraciones salinas, desde un valor ligeramente superior a 70 de dicho índice para el control y 100 mM, hasta el valor 0 que aparece en las concentraciones de 300, 400 y 500 mM. A 200 mM, se obtiene un valor de 30, es decir, menos de la mitad que el valor para el control y 100 mM.

La figura 4.33 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación. Indica

que hay tres grupos significativamente diferentes: un grupo con el control y 100 mM, un grupo con 200 mM, y un tercer grupo con las condiciones 300, 400 y 500 mM, a las cuales no hay germinación.

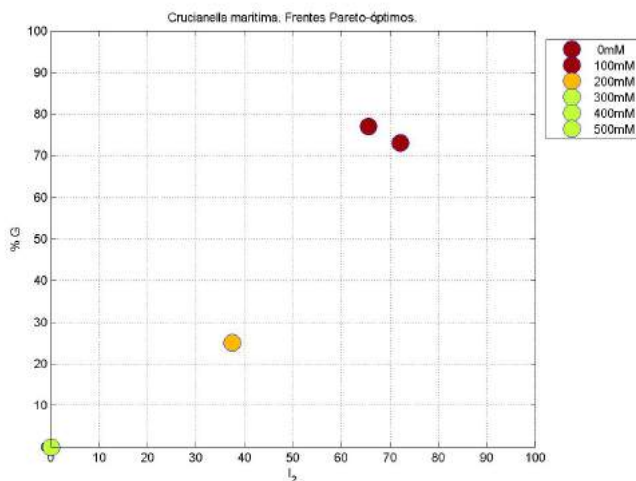


Fig. 4.34: *Crucianella maritima*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

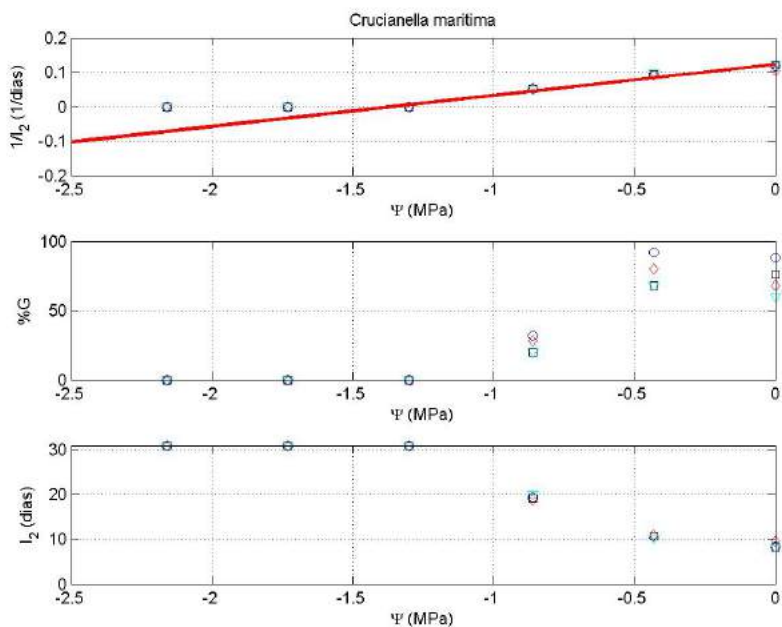


Fig. 4.35: *Crucianella maritima*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

La figura 4.34 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización del porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que las mejores condiciones son el control y 100 mM. La respuesta a 200 mM es mucho menor. Los valores de porcentaje de germinación y velocidad de germinación bajan prácticamente al mismo ritmo a partir de ahí, con un muy ligero mayor ritmo de caída para el porcentaje que para la velocidad.

Finalmente, en la gráfica 4.35 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido a partir de la recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,37$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 11,06$ MPa día.

4.2.8. *Malcolmia littorea* (L.) R.Br.

La temperatura elegida para hacer el estudio de tolerancia a sales fue la alterna 25/10°C . A dicha temperatura, además del control en el que se obtiene un porcentaje de 93 y una velocidad de 95, solo hay registro de germinación a la concentración de 100 mM, a la cual se alcanza un porcentaje de germinación inferior al 35 % y con un índice de velocidad de germinación de 85. A las concentraciones salinas de 200, 300, 400 y 500 mM no hay germinación.

La figura 4.36 (arr.) muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. Se observa que a 100 mM se alcanza el máximo de germinación, 40 %, a los diez días del comienzo del estudio, mientras que en el control se alcanza el 100 % de germinación antes de los tres días. La figura 4.36 (baj.) muestra estos resultados. La tabla 4.15 muestra los valores de las medias y las desviaciones típicas representadas en la figura 4.36 (izq.), así como el resultado del test de Lilliefors.

En la figura 4.37 (der.) se representa el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad, se observa que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, otro con 100 mM y un tercer grupo con el resto de condiciones salinas. Se aprecia bastante diferencia entre el control y la concentración 100 mM.

La figura 4.37 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) en las distintas concentraciones salinas, se observan tres grupos significativamente diferentes, al igual que en la figura anterior. Apenas hay diferencia entre el control y la condición 100 mM. La dispersión de los datos es muy pequeña.

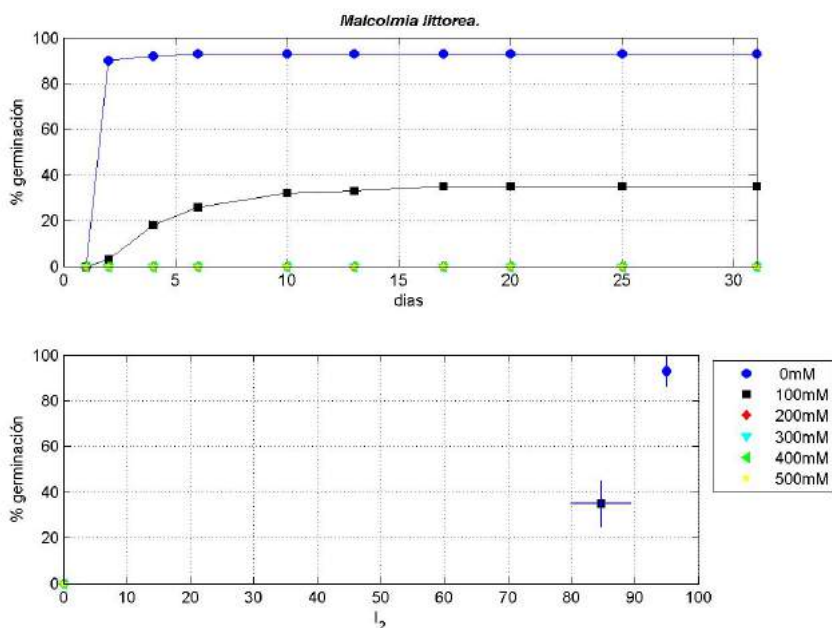


Fig. 4.36: *Malcolmia littorea*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Malcolmia littorea</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25°/10°, 0mM	93.00	6.83	94.99	0.28	0	0
25°/10°, 100mM	35.00	10.00	84.68	4.74	0	0
25°/10°, 200mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°/10°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°/10°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°/15°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.15: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\%G$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La tabla 4.16 muestra los datos del índice de optimalidad, I_D , frente a concentración de sal, cuya representación gráfica es la figura 4.38 (der.). Se puede observar que hay un rápido descenso a la mitad del valor del índice desde el primer aumento de concentración salina en el medio. Si para el control se alcanza un valor cercano a 100. Para la condición de 100 mM es de 52. Para las otras condiciones el valor es cero puesto que no hay germinación alguna.

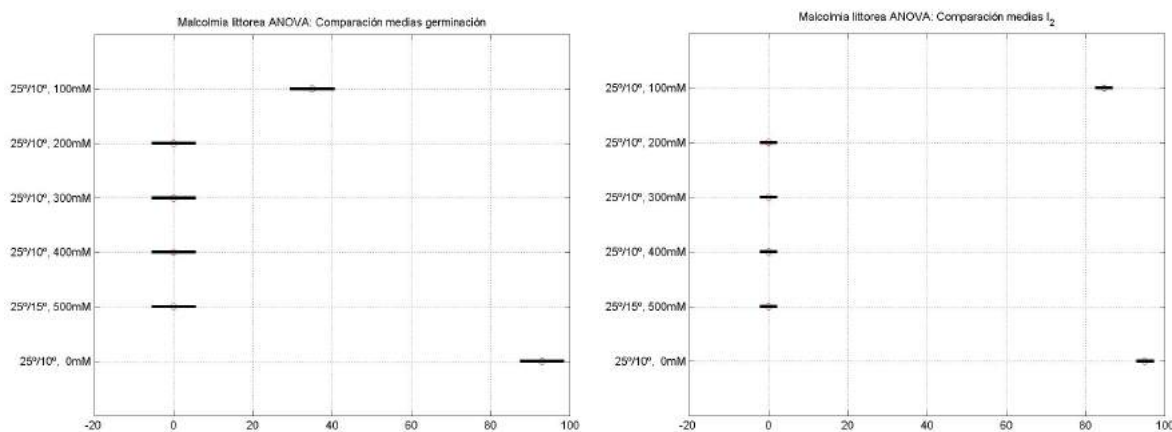


Fig. 4.37: *Malcolmia littorea*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°/10°, 0mM	93.33	3.69
25°/10°, 100mM	52.69	7.12
25°/10°, 200mM	0.00	0.00
25°/10°, 300mM	0.00	0.00
25°/10°, 400mM	0.00	0.00
25°/10°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.16: *Malcolmia littorea*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La figura 4.38 (izq.) corresponde al análisis ANOVA que compara las medias del índice de optimalidad, I_D , se observan como en la figura anterior también los mismos grupos que en los dos análisis anteriores. Quizá es importante señalar que hay bastante diferencia entre el control y la concentración 100 mM.

Finalmente, la figura 4.39 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización del porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es el control con valores para el porcentaje de germinación y la velocidad de germinación cercanos a 100. La segunda condición es 100 mM, con una velocidad de alrededor de 85, pero con bajísimo porcentaje del 35%. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación. En definitiva, esta especie soporta muy poco el aumento de concentración salina en el medio.

En la gráfica 4.40 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la con-

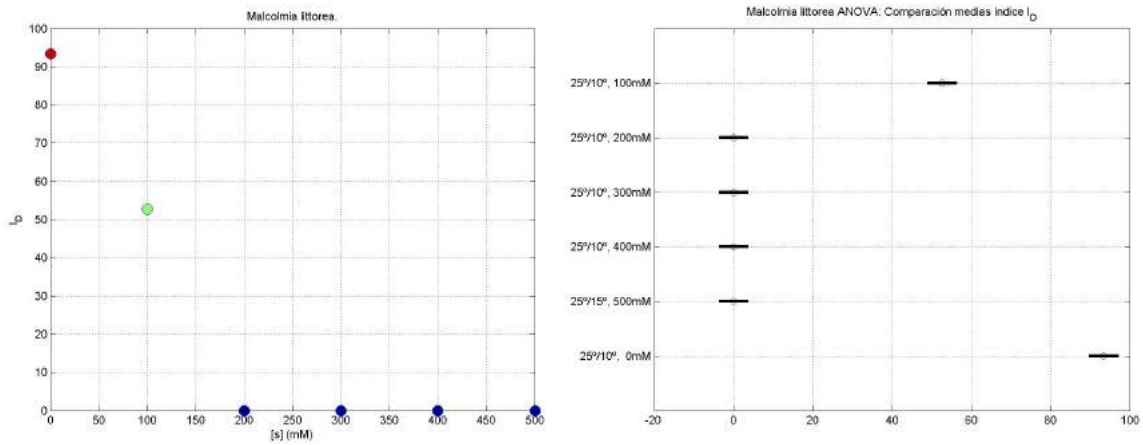


Fig. 4.38: *Malcolmia littorea*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

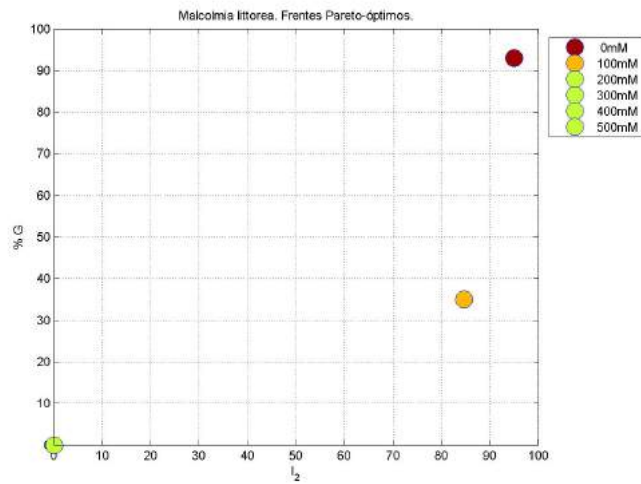


Fig. 4.39: *Malcolmia littorea*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

centración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante la recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\psi_b = -0,82$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 1,33$ MPa día.

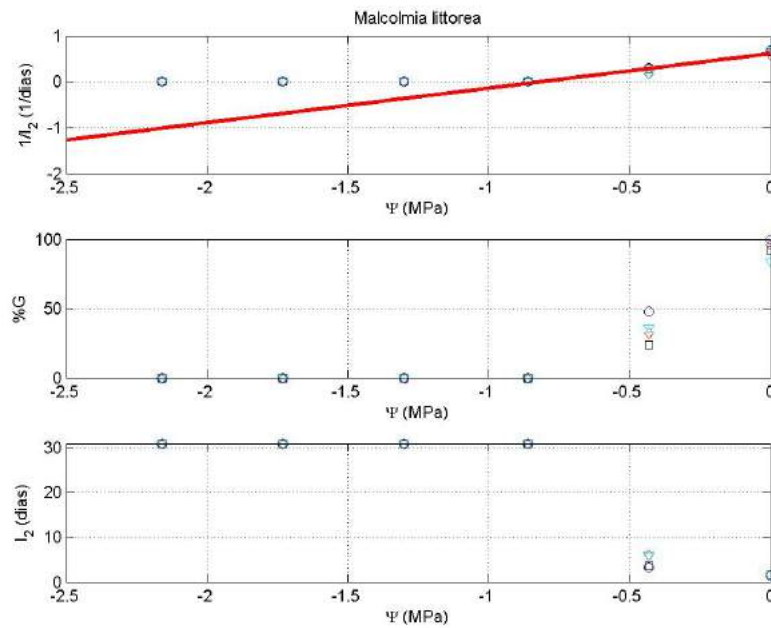


Fig. 4.40: *Malcolmia littorea*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.9. *Pancratium maritimum* L.

En el control, el porcentaje de germinación fue 84% y para el índice de velocidad de germinación un resultado sensiblemente menor, de 73.

En la gráfica que muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación, figura 4.41 (arr.), se observa el mismo patrón de inicio de la germinación tanto en el control como en la condición de 100 mM, llegando al máximo de germinación a los quince días aproximadamente. En la condición de 200 mM, la germinación comienza casi a los quince días. En cualquier caso, se observa un descenso brusco del porcentaje de germinación, algo más progresivo en la velocidad de germinación, conforme aumenta la concentración salina del medio. El descenso en la velocidad de germinación se debe tanto a un aumento del tiempo de latencia como a un mayor tiempo de subida desde que comienza la germinación hasta se alcanza el máximo valor. Los resultados en la gráfica de porcentaje de germinación frente al índice de velocidad de germinación, véase la figura 4.41 (baj.), indican que la planta tolera los 100 mM con unos valores de 63% en porcentaje de germinación y un índice de velocidad de germinación de aproximadamente 68. La especie consigue germinar a 200 mM pero con índice de velocidad de germinación que no llega al valor de 50 y

un porcentaje de germinación muy bajo, del 10%. A valores de concentración de sal mayores a 200 mM no se obtienen resultados.

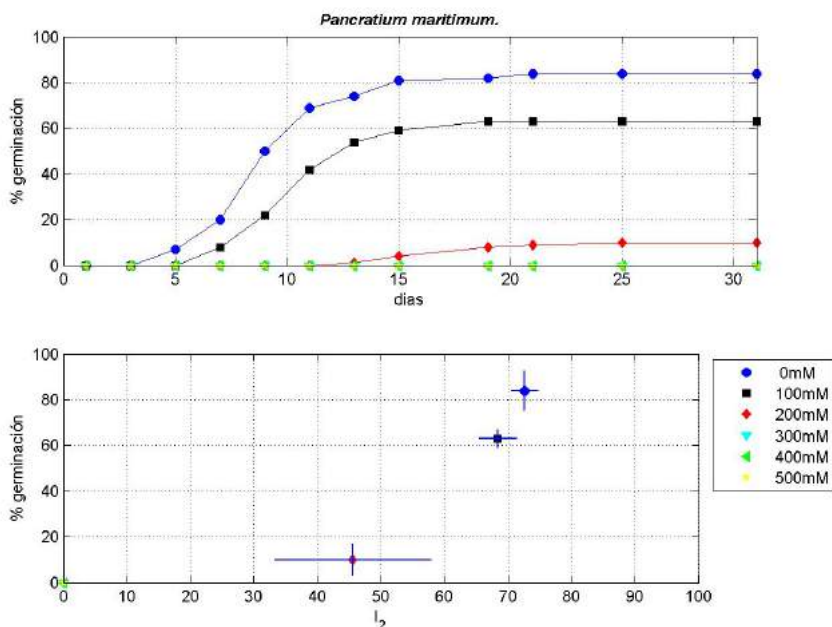


Fig. 4.41: *Pancratium maritimum*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación vs. índice de velocidad de germinación (I_2).

En la tabla 4.17 se muestran los datos referentes a las medias y las desviaciones típicas representadas en la figura 4.41 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

<i>Pancratium maritimum</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25°, 0mM	84.00	8.64	72.63	2.10	0	0
25°, 100mM	63.00	3.83	68.41	2.97	0	0
25°, 200mM	10.00	6.93	45.51	12.33	0	0
25°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.17: Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

En la figura 4.42 (der.) se representa el análisis ANOVA, que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad, se observa que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, un segundo grupo con 100 mM, y un tercer grupo con 200 mM y el resto de condiciones salinas a las cuales no hay germinación. Se aprecia diferencia entre el control y los 100 mM.

En la figura 4.42 (izq.) se observa el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación, (I_2), en las distintas concentraciones salinas. Se puede ver que hay tres grupos significativamente diferentes. El control y 100 mM forman un grupo, otro es para la condición 200 mM y el tercer grupo lo integran el resto de condiciones.

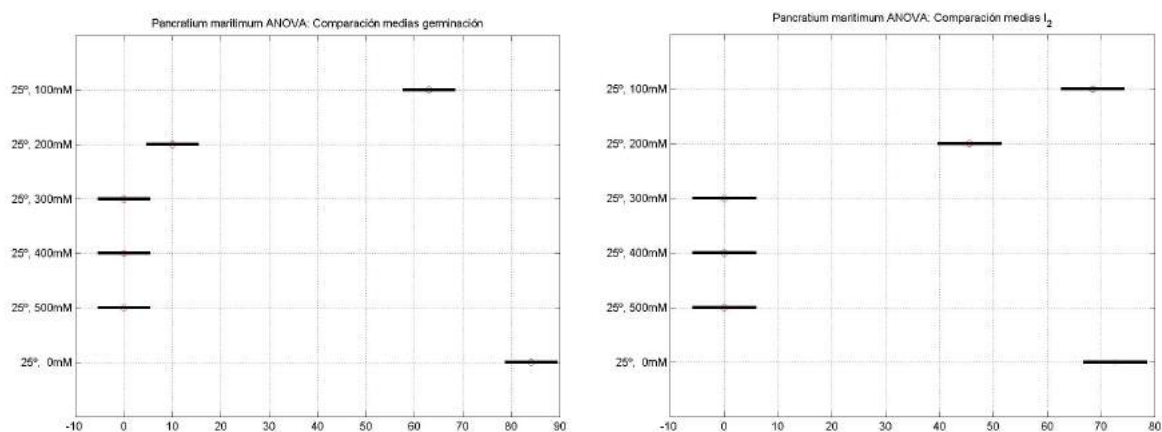


Fig. 4.42: *Pancratium maritimum*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°, 0mM	77.17	3.81
25°, 100mM	65.55	2.72
25°, 200mM	25.39	7.54
25°, 300mM	0.00	0.00
25°, 400mM	0.00	0.00
25°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.18: *Pancratium maritimum*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.18 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.43 (der.). Se puede observar que hay un descenso progresivo comenzando por el control con un valor cercano a 80, después la condición de 100 mM con un valor de 65, después la condición de 200 mM con un valor de 25 y por último un valor de 0 para el resto de condiciones a las que no hay germinación.

La figura 4.43 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación muestra cuatro grupos: control, 100 mM, 200 mM y el resto.

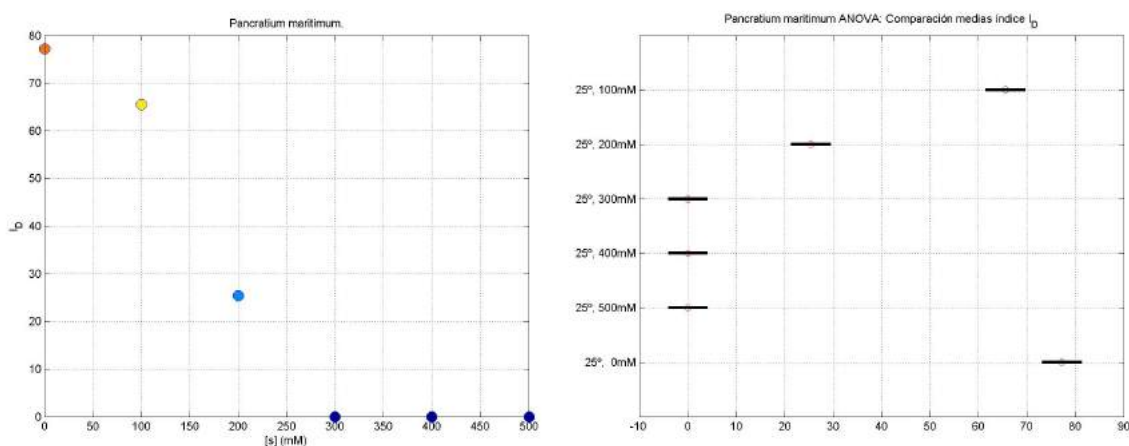


Fig. 4.43: *Pancratium maritimum*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

En la figura 4.44 se representan los frentes Pareto-óptimos que optimizan el porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es el control con valores para el porcentaje de germinación cercanos a 84 y la velocidad de germinación de 73. La segunda condición sería 100 mM con un porcentaje de germinación de 63 con una velocidad de 68. La condición de 200 mM tiene un valor de porcentaje de germinación de 10 a una velocidad de 45. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación. En esta figura se observa claramente que el porcentaje de germinación baja mucho más rápidamente que la velocidad de germinación conforme aumenta la concentración salina del medio. Esto ya se observaba en los análisis ANOVA descritos, en los cuales se vio que los valores de velocidad de germinación tanto en control como a 100mM no son estadísticamente distinguibles.

Finalmente, la gráfica 4.45 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la

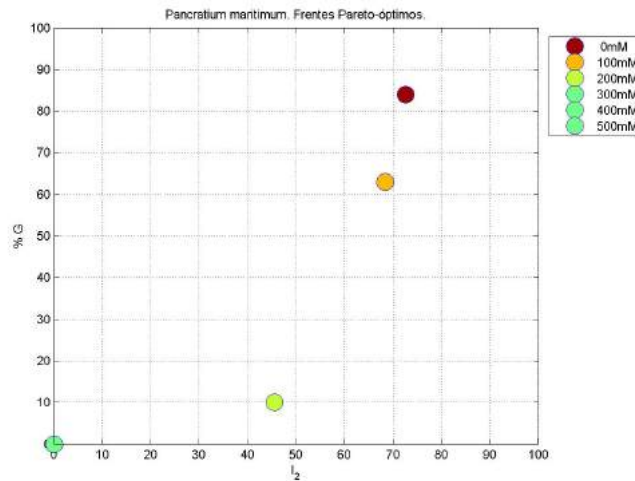


Fig. 4.44: *Panicratium maritimum*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,42$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 10,90$ MPa día.

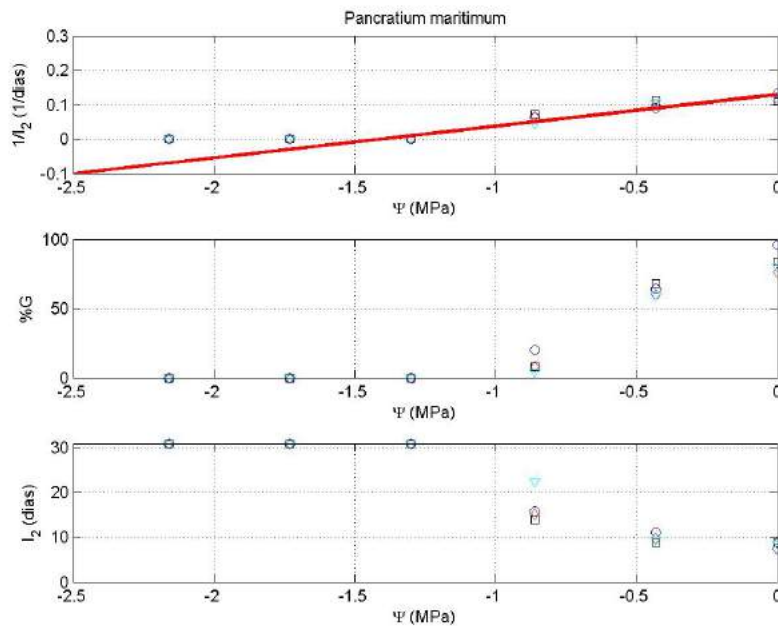


Fig. 4.45: *Panicratium maritimum*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.10. *Teucrium dunense* Sennen

El estudio de tolerancia a sales se hizo a 25°C , obteniéndose en el control unos valores de 73% en germinación y un índice de velocidad de germinación menor, de 63.

La figura 4.46 (arr.) muestra la evolución del porcentaje de germinación en el tiempo. Se ve el mismo patrón de comportamiento para el control y los 100 mM, habiendo un retraso en ambos casos en torno a los cinco días en el inicio de la germinación y alcanzando el máximo porcentaje a los 22-23 días. Para la condición de 200 mM el patrón es similar pero con la aparición de la germinación casi a los quince días de comenzar el estudio (mucho mayor tiempo de latencia) y, alcanzando un máximo mucho menor. La figura 4.46 (baj.) muestra que se obtienen valores muy similares al control a la condición salina de 100 mM. Solamente difieren en que el porcentaje de germinación es del 70%. La especie consigue germinar a 200 mM, sin dispersión de los datos, con unos resultados de menos del 10% en germinación y un índice de velocidad de germinación cercano al 50. A concentraciones de 300, 400 y 500 mM no se obtiene germinación.

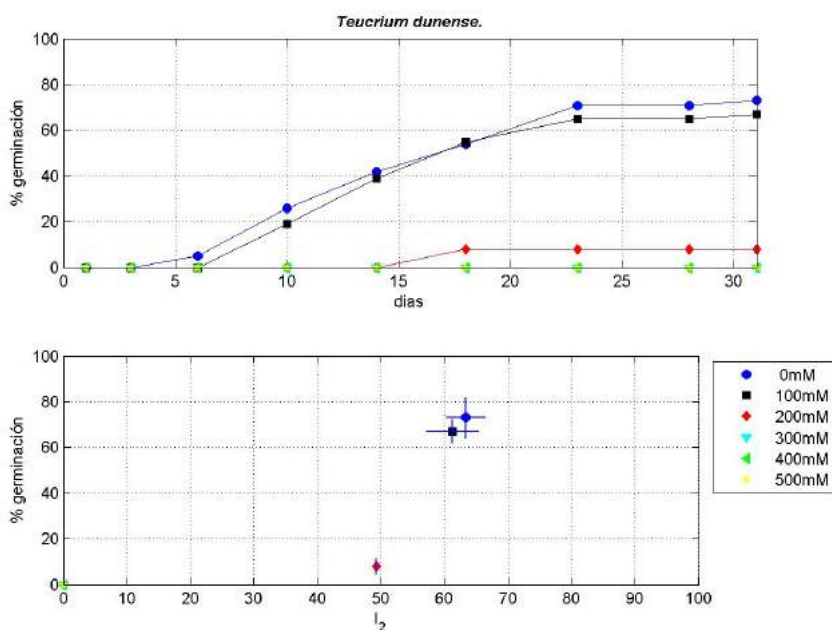


Fig. 4.46: *Teucrium dunense*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

La tabla 4.19 muestra los valores de medias y desviaciones típicas que se representan en la figura 4.46 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

<i>Teucrium dunense</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25°, 0mM	73.00	8.87	63.33	3.03	0	0
25°, 100mM	67.00	5.03	61.26	4.08	0	0
25°, 200mM	8.00	3.27	49.25	0.00	0	0
25°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.19: *Teucrium dunense*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.47 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad indica que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, el segundo con la condición 100 mM, y el tercer grupo con el resto de condiciones salinas, a las cuales no hay germinación.

La figura 4.47 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación, (I_2), en las distintas concentraciones salinas. Muestra que hay dos grupos significativamente diferentes. Un grupo lo forman el control y 100 mM, y otro grupo lo integran el resto de condiciones, incluyendo la condición de 200 mM que si presenta germinación junto con el resto a las cuales no hay germinación.

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°, 0mM	67.61	5.27
25°, 100mM	63.92	3.45
25°, 200mM	25.70	2.02
25°, 300mM	0.00	0.00
25°, 400mM	0.00	0.00
25°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.20: *Teucrium dunense*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

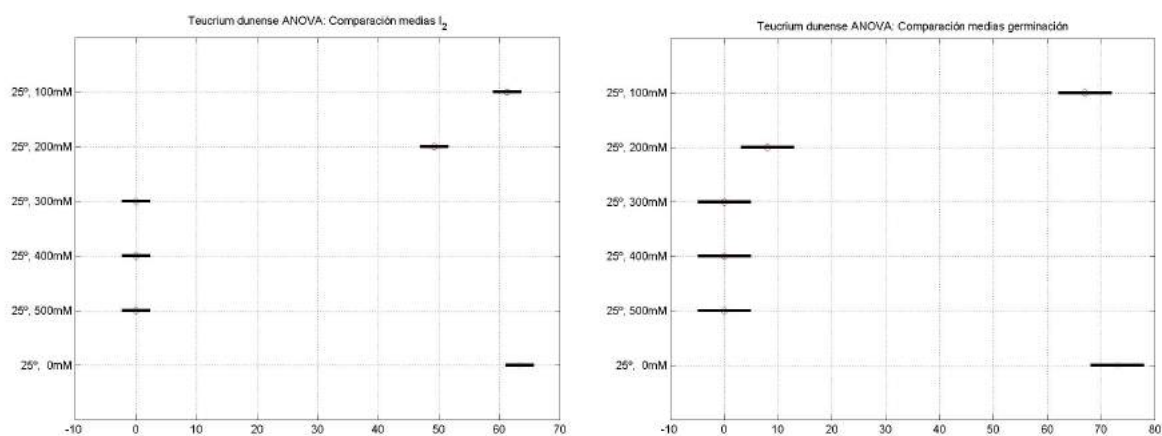


Fig. 4.47: *Teucrium dunense*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

La tabla 4.20 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.48 (der.). Se puede observar que hay un descenso comenzando por el control con un valor de 68, seguido de la condición de 100 mM con un valor de 64. La condición de 200 mM con un valor de 26 y por último un valor de 0 para el resto de condiciones a las que no hay germinación.

La figura 4.48 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación, muestra también los mismos tres grupos que en los análisis ANOVA anteriores.

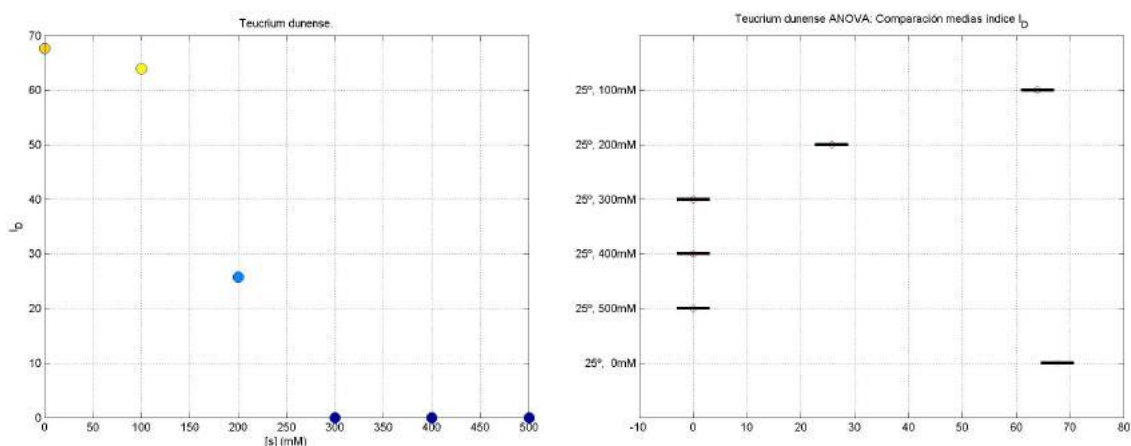


Fig. 4.48: *Teucrium dunense*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

Finalmente, en la figura 4.49 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización de la velocidad y porcentaje de germinación. Se puede observar que la mejor condición es el control, con valores para el porcentaje de germinación cercanos a 75 y la velocidad de germinación de 63. La segunda condición sería 100 mM con un porcentaje de germinación de 67 con una velocidad de casi 61. La condición de 200 mM tiene un valor de porcentaje de germinación de 58 a una velocidad de 49. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación. Para los porcentajes de germinación se observa una gran variación, ya que el máximo es 73 y el mínimo 8, pero si hay una gran diferencia entre la velocidad de germinación a condición control y 100 mM, y la condición de 200 mM. Se observa que el porcentaje de germinación cae inicialmente al mismo ritmo que la velocidad de germinación para, posteriormente, caer mucho más rápidamente que ésta.

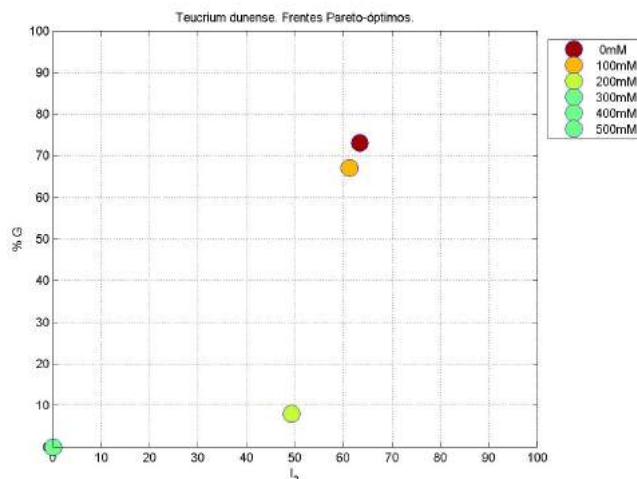


Fig. 4.49: *Teucrium dunense*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

Finalmente, la gráfica 4.50 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación, I_2 , expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,54$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 15,11$ MPa día.

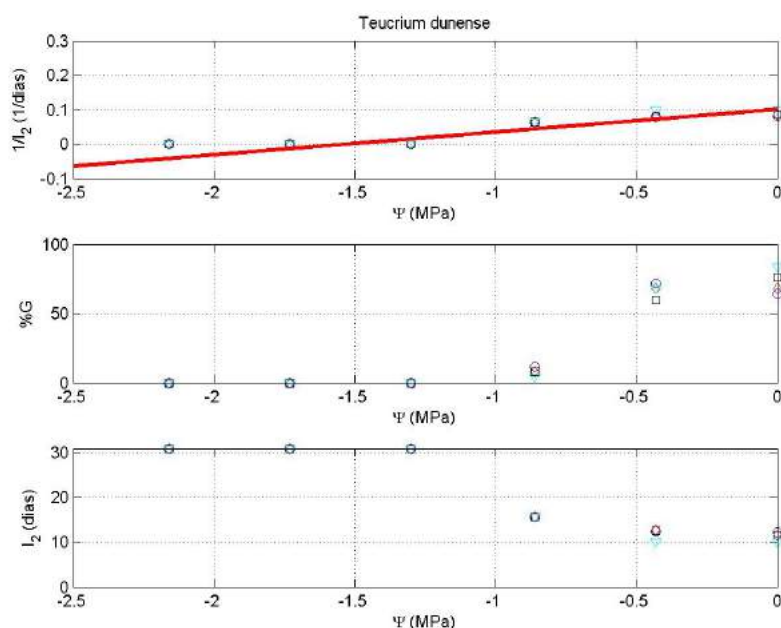


Fig. 4.50: *Teucrium dunense*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.11. *Halimium halimifolium* (L.) Willk.

En el control a 25°C para el estudio de tolerancia a sales los resultados que se obtienen en el porcentaje de germinación es del 76 %, y el índice de velocidad de germinación fue de 68.

La figura 4.51 (arr.) muestra la evolución en el tiempo de la germinación. Para el control el inicio de la germinación es a los dos días del comienzo del estudio y en 100 mM es a los cinco días aproximadamente. En el control se llega al máximo de germinación a los 25 días y en el caso de los 100 mM al décimo día. La figura 4.51 (baj.) muestra que esta especie tolera muy poco la presencia de sal para germinar. Consigue solo un 10 % de germinación con un índice de velocidad de germinación (I_2) de 75 a 100 mM, y no consigue germinar en ninguna otra concentración salina.

La tabla 4.21 muestra los datos de las medias y las desviaciones típicas representadas en la figura 4.51 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

La figura 4.52 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, otro con 100 mM, y un tercer grupo con el resto de condiciones salinas.

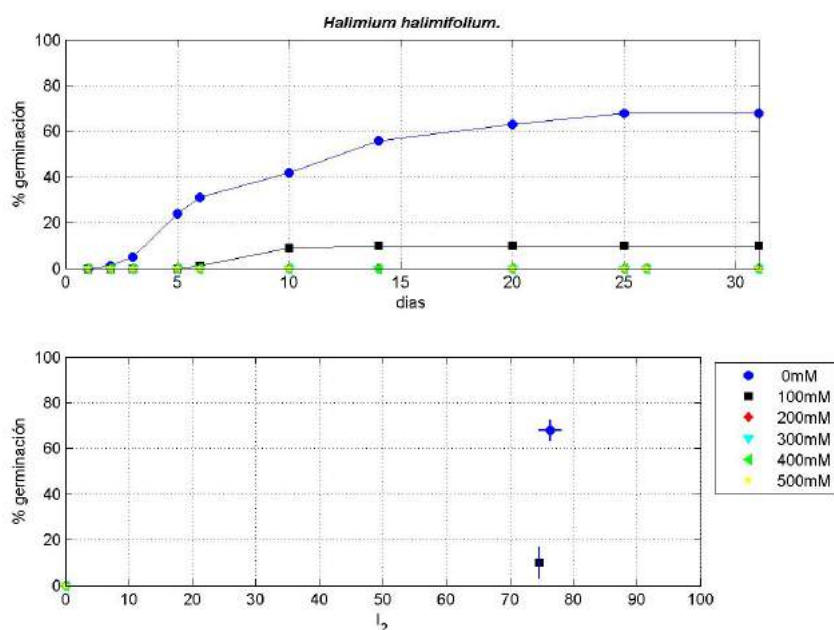


Fig. 4.51: *Halimium halimifolium*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Halimium halimifolium</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	$N(I_2)$	$N(G)$
25°, 0mM	68.00	4.62	76.32	1.83	0	0
25°, 100mM	10.00	6.93	74.64	0.22	0	1
25°, 200mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.21: *Halimium halimifolium*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.52 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a las distintas concentraciones salinas. Muestra que hay dos grupos significativamente diferentes. El control y 100 mM forman un grupo, y el resto de condiciones integran otro grupo.

La tabla 4.22 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación

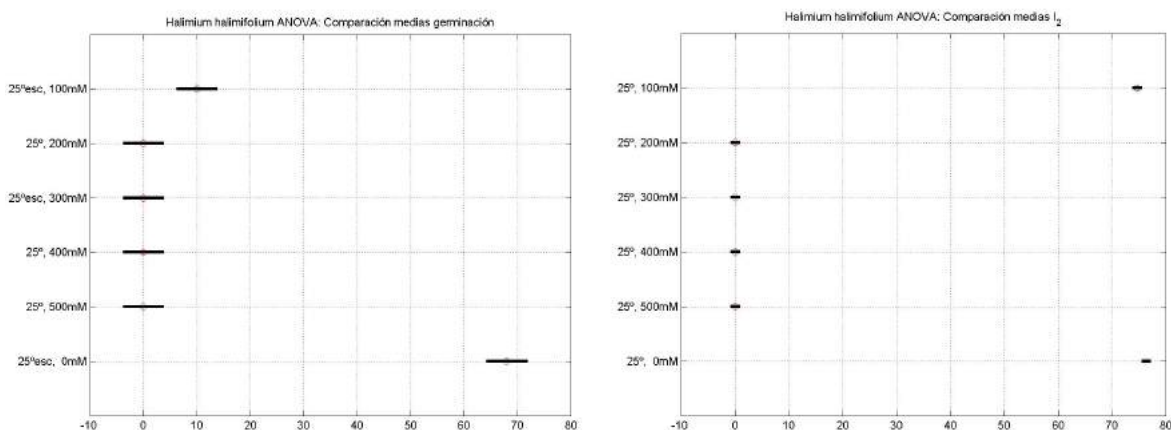


Fig. 4.52: *Halimium halimifolium*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°, 0mM	71.73	1.88
25°, 100mM	33.87	4.66
25°, 200mM	0.00	0.00
25°, 300mM	0.00	0.00
25°, 400mM	0.00	0.00
25°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.22: *Halimium halimifolium*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

gráfica se muestra en la figura 4.53 (der.). Se puede observar que hay un descenso brusco comenzando por el control con un valor cercano a 70, después la condición de 100 mM con un valor de 33, y finalmente con un valor de 0 para el resto de condiciones, a las que no hay germinación. Es decir, para el primer incremento de concentración salina, el índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación divide su valor por dos. En cuanto sube la concentración salina, la semilla no germina.

La figura 4.53 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra tres grupos: uno para el control, otro para 100 mM y otro para el resto.

La figura 4.54 muestra los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es el control con valores para el porcentaje de germinación entorno a 70 y la velocidad de germinación de 76.

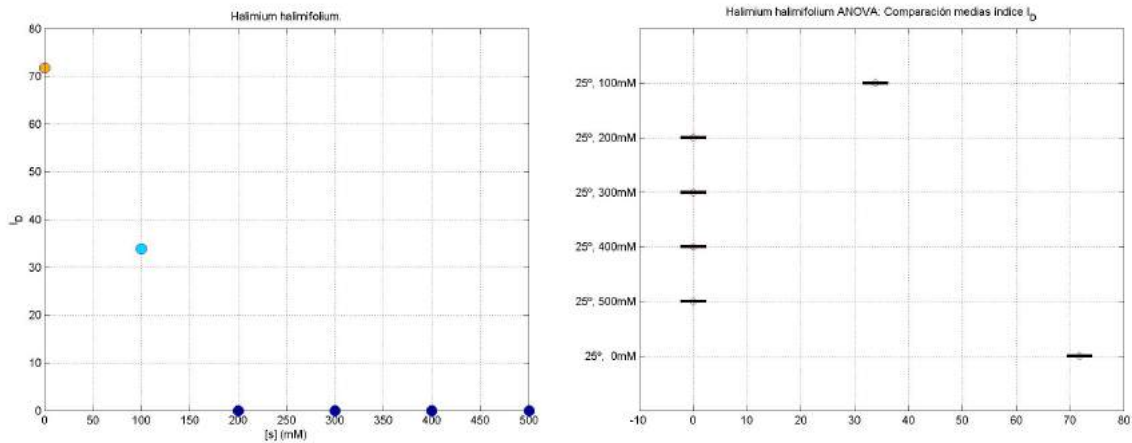


Fig. 4.53: *Halimium halimifolium*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.)

A 100 mM el porcentaje de germinación cae muy bruscamente, a un valor entorno a 10, mientras que la velocidad de germinación se mantiene básicamente igual. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación. Es decir, esta especie tolera muy poco el aumento de concentración salina en el medio de germinación y, este aumento afecta fundamentalmente al porcentaje de germinación.

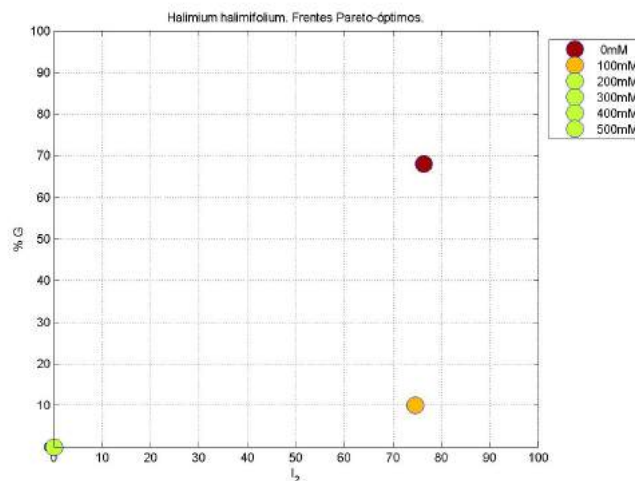


Fig. 4.54: *Halimium halimifolium*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sales.

Finalmente, la gráfica 4.55 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico.

El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -0,98$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 6,28$ MPa día.

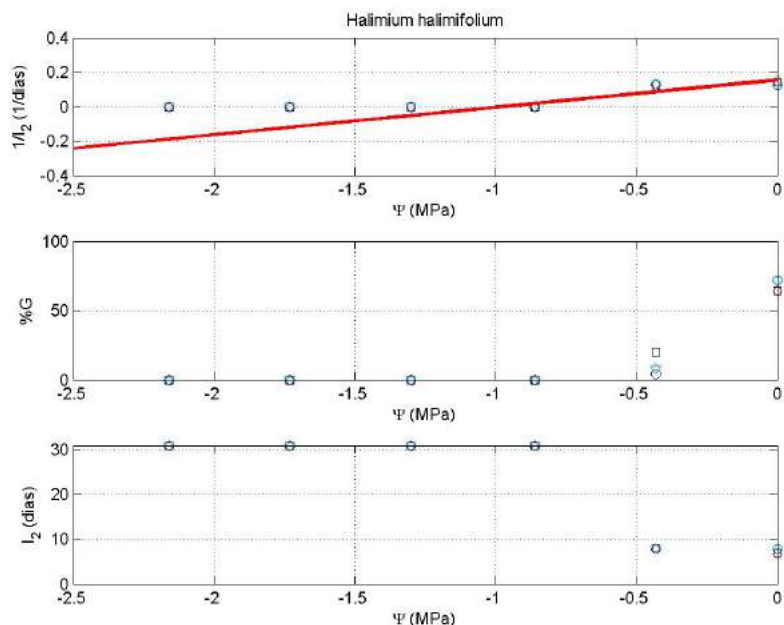


Fig. 4.55: *Halimium halimifolium*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.12. *Phillyrea angustifolia* L.

En el estudio de tolerancia a sales, para la muestra de control, los resultados fueron cercanos al 70 % de germinación y un índice de velocidad de germinación de 82.

La figura 4.56 (arr.) muestra la evolución de la germinación en el tiempo. Se observa el mismo patrón de comportamiento en las fases iniciales entre el control y los 100 mM, con el mismo periodo de latencia e incluso una velocidad de germinación similar. Sin embargo, en el segundo caso el porcentaje de germinación es mucho menor, por lo que el valor máximo de germinación se alcanza antes. La germinación a 200 mM muestra un periodo de latencia mucho mayor que en los casos anteriores, la germinación comienza entorno a los diez días y el porcentaje obtenido es mucho menor. La figura 4.56 (baj.) muestra que a la condición de 100 mM la especie germina con un porcentaje de aproximadamente el 30 % y un índice de velocidad de

germinación (I_2) de casi 90. La especie consigue germinar a 200 mM pero con un porcentaje de germinación inferior al 5% y con un índice de velocidad de germinación inferior a 20. A esta última condición la dispersión de los resultados experimentales, en especial para el índice de velocidad de germinación, es muy elevada.

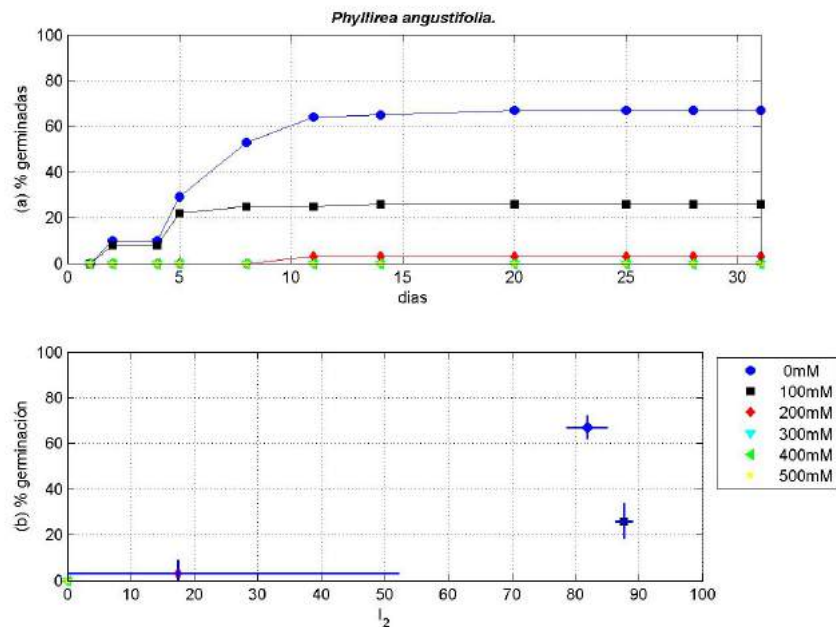


Fig. 4.56: *Phyllirea angustifolia*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación vs. índice de velocidad de germinación (I_2).

La tabla 4.23 muestra los datos de medias y desviaciones típicas de la figura ?? (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

La figura 4.57 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay tres grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control, un segundo grupo con 100 mM y un tercer grupo con el resto de condiciones salinas. En este tercer grupo están tanto las condiciones sin germinación (300, 400 y 500 mM), como la condición 200 mM, que si presenta germinación. La figura 4.57 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a las distintas concentraciones salinas. Muestra que hay dos grupos significativamente diferentes: el control y 100 mM forman un grupo, otro lo integran el resto de condiciones.

Phillyrea angustifolia

Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
15°, 0mM	67.00	5.03	81.85	3.20	0	0
15°, 100mM	26.00	7.66	87.67	1.39	0	0
15°, 200mM	3.00	6.00	17.42	34.85	1	1
15°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
15°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
15°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.23: *Phillyrea angustifolia*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

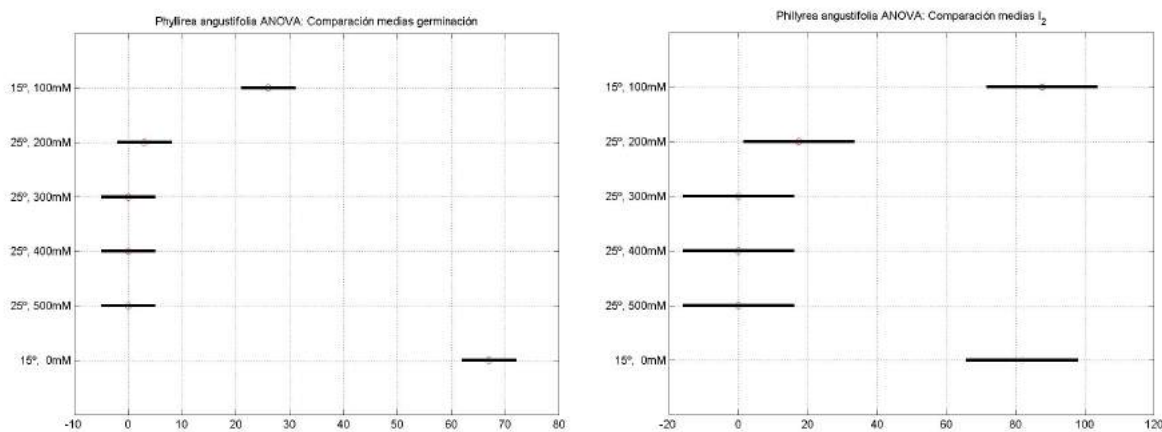


Fig. 4.57: *Phillyrea angustifolia*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (izq.) y velocidades de germinación (der.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
15°, 0mM	73.22	2.72
15°, 100mM	46.93	5.21
15°, 200mM	8.55	1.71
15°, 300mM	0.00	0.00
15°, 400mM	0.00	0.00
15°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.24: *Phillyrea angustifolia*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.24 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.58 (der.). Se puede observar que hay un descenso brusco comenzando por el control con un valor de 73, después 100 mM con un valor de 47, 200 mM con un valor de 8 y, finalmente, para el resto de condiciones el valor es 0 por no haber germinación.

La figura 4.58 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra tres grupos: uno para el control, otro para 100 mM y otro para el resto.

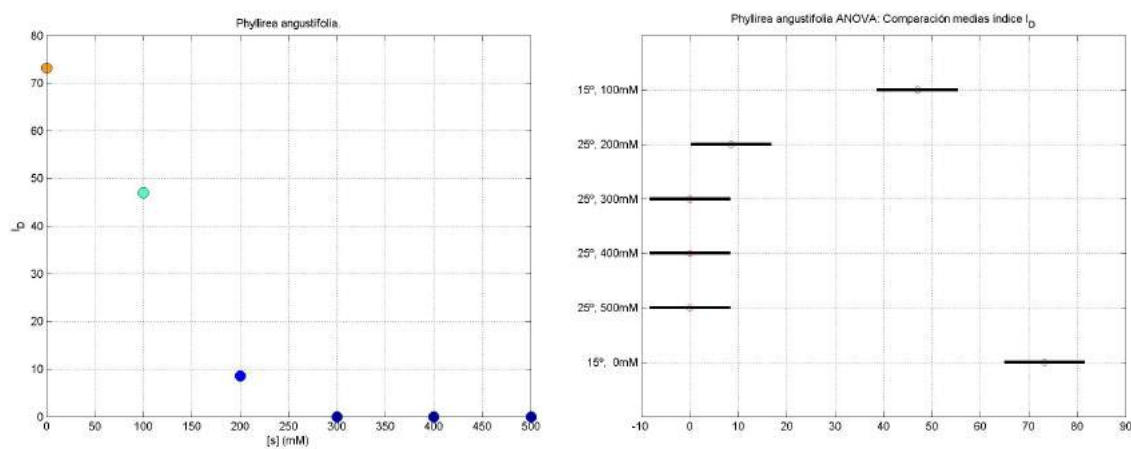


Fig. 4.58: *Phyllirea angustifolia*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

La figura 4.59 muestra los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que las mejores condiciones son el control y 100 mM, con alta velocidad de germinación (estadísticamente no distinguible entre ambas, tal como mostraban los grupos del análisis ANOVA). Ciertamente en el caso de 100mM el porcentaje de germinación es mucho más bajo. El hecho de que aparezca en el mismo grupo que el control se debe que que la velocidad de germinación es similar a la del control. A 200 mM el porcentaje de germinación es menor de un 5% y con una velocidad de 17. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación. En resumen, esta especie tampoco soporta elevadas concentraciones salinas en el medio de germinación viéndose primero afectado el porcentaje de germinación que cae bruscamente incluso a 100 mM.

Finalmente, la gráfica 4.60 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días *vs.* la

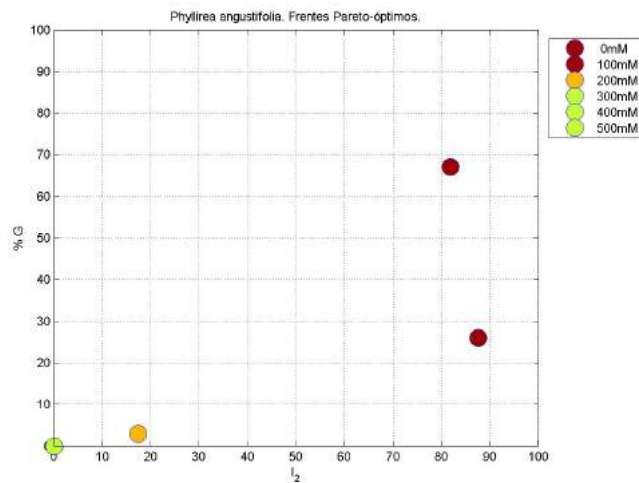


Fig. 4.59: *Phyllirea angustifolia*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sales.

concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido para el potencial osmótico base mediante recta de regresión es de $\Psi_b = -1,30$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 5,54$ MPa día.

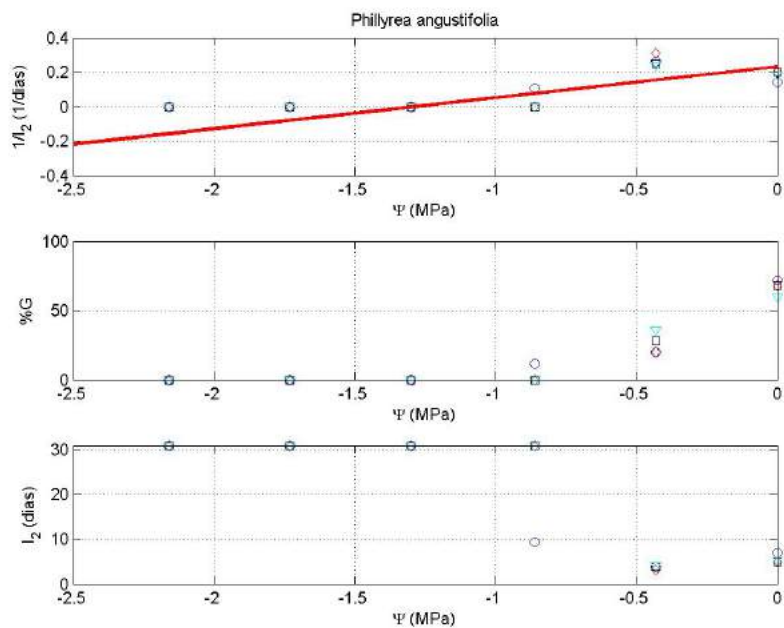


Fig. 4.60: *Phyllirea angustifolia*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.13. *Rhamnus oleoides* L. subsp. *angustifolia* (Lange) Rivas Goday & Rivas Martínez

El control dio unos resultados en cuanto a porcentaje de germinación de tan solo 29% con un índice de velocidad de germinación de 74.

En la figura 4.61 (arr.) se representa la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. Tanto en el control como en la condición de 100 mM se ve una respuesta parecida, habiendo un retardo de cinco días para que comience la germinación y alcanzándose el valor máximo prácticamente al final del ensayo. A 200 mM la escasa germinación comienza a los veinte días. La figura 4.61 (baj.) muestra que a 100 mM la especie germina con un porcentaje de germinación cercano al de control, y con un índice de velocidad de germinación de 60. La dispersión de resultados para el índice de velocidad de germinación es aun mayor que en el control. Consigue germinar a 200 mM, pero con menos del 10% y con un índice de velocidad de germinación cercano a 30.

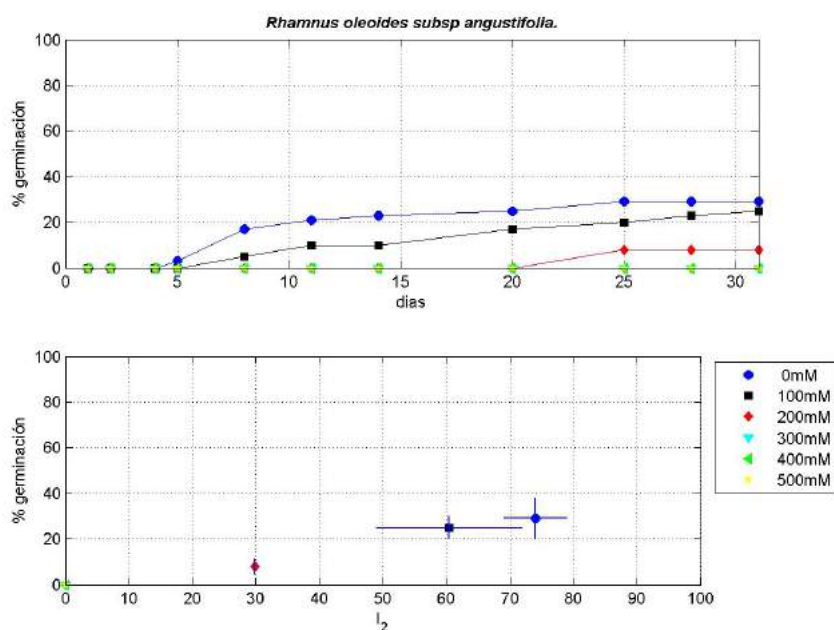


Fig. 4.61: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación vs. índice de velocidad de germinación (I_2).

La tabla 4.25 muestra los datos de medias y desviaciones típicas de la figura 4.61 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors.

Rhamnus oleoides subsp. *angustifolia*

Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\bar{\%G}$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25°, 0mM	29.00	8.87	74.04	4.96	0	1
25°, 100mM	25.00	5.03	60.39	11.48	0	0
25°, 200mM	8.00	3.27	29.79	0.00	0	0
25°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.25: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.62 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de porcentaje de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay dos grupos significativamente diferentes. Un primer grupo con el control y con 100 mM, y un segundo grupo con el resto de condiciones salinas. En este segundo grupo se incluye la condición de 200 mM a la que si hay germinación, junto con las condiciones a las que no hay germinación. En la figura 4.62 (izq.) el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) en las distintas concentraciones salinas muestra que hay cuatro grupos significativamente diferentes. El primer grupo es el control, el segundo 100 mM, el tercero 200 mM y por último, el cuarto, con las condiciones a las que no hay germinación.

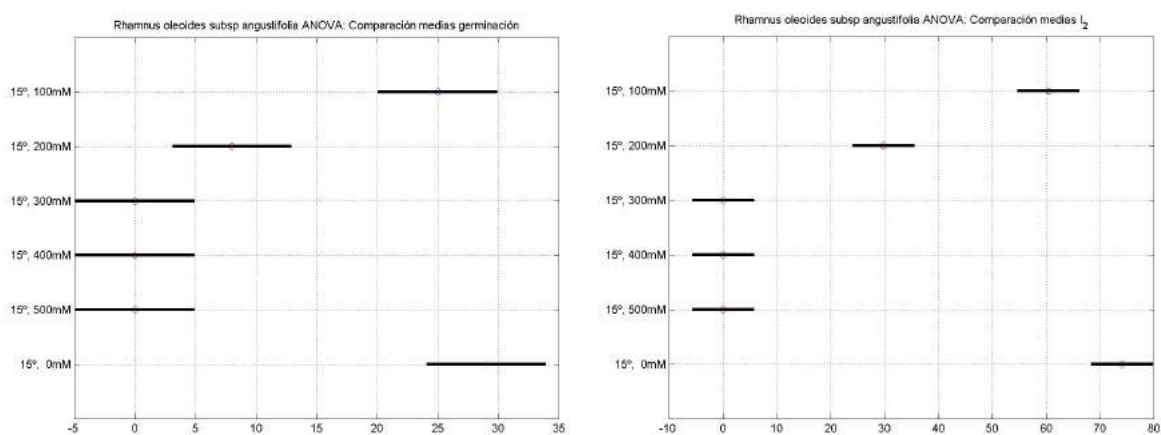


Fig. 4.62: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Análisis ANOVA de comparación de medias (izq.) y velocidades de germinación (der.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25°, 0mM	46.36	4.98
25°, 100mM	39.58	2.57
25°, 200mM	1.82	1.84
25°, 300mM	0.00	0.00
25°, 400mM	0.00	0.00
25°, 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.26: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.26 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.63 (der.). Se observa que hay un descenso progresivo, comenzando por el control con un valor de 46, después 100 mM con un valor de 39, para ya a partir de ahí cae más bruscamente hasta el valor de 1, correspondiente a la condición de 200 mM. Por último, con un valor de 0, están las condiciones a las que no hay germinación. En esta especie el valor del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad es bajo, si se compara con otras especies.

La figura 4.63 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra los mismos cuatro grupos que el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2).

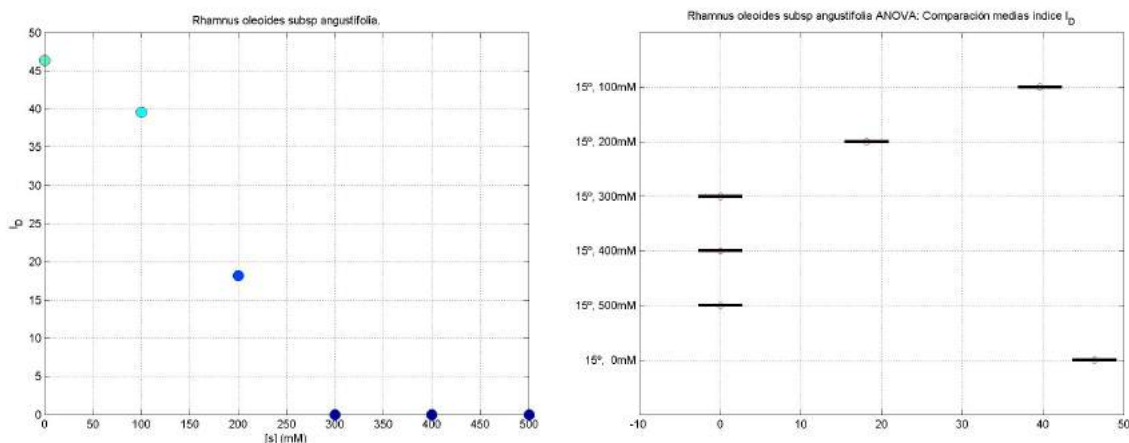


Fig. 4.63: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

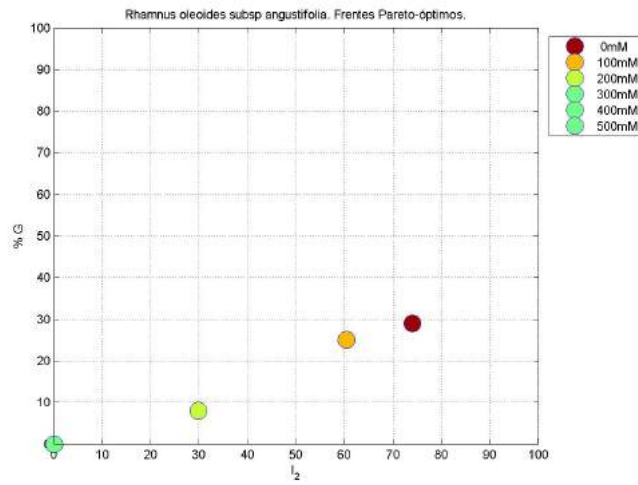


Fig. 4.64: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sales.

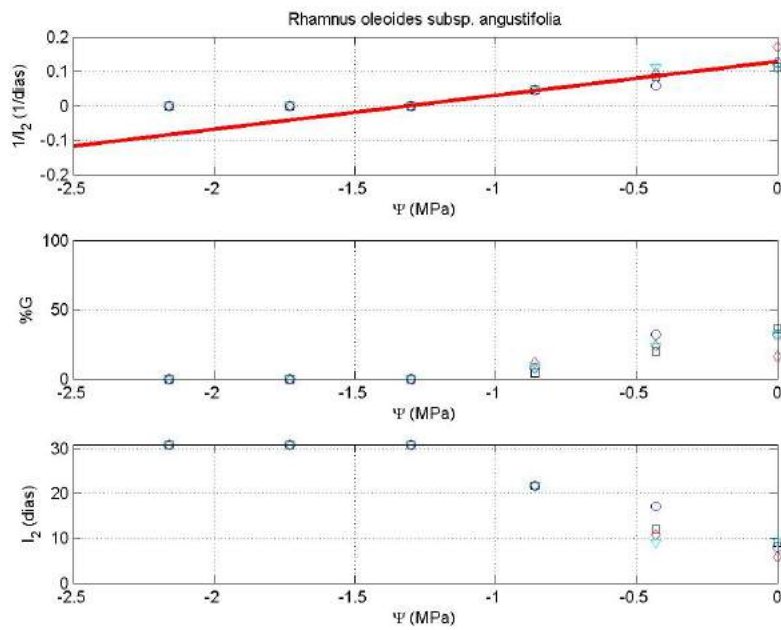


Fig. 4.65: *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

La figura 4.64 muestra los frentes Pareto-óptimos correspondientes a la optimización simultánea del porcentaje y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es el control y, también, 100 mM. Se observa un patrón similar al de especies anteriores, aunque partiendo en este caso de valores muy bajos de porcentaje de germinación. Así, de control a 100mM hay un muy ligero descenso en el porcentaje de germinación y un más pronunciado descenso en la velocidad de germinación. A partir de ahí se hace más pronunciada la caída en el porcentaje de germinación.

Finalmente, la gráfica 4.65 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación I_2 expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,31$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 10,18$ MPa día.

4.2.14. *Myrtus communis* L.

En el control se obtuvieron unos resultados de 61 % para el porcentaje de germinación, y 85 para el índice de velocidad de germinación.

La figura 4.66 (arr.) muestra como la especie logra germinar a una concentración salina de 100 mM con un porcentaje de germinación de cerca del 40 %, algo menor que para control, y con un índice de velocidad de germinación indistinguible del control. También germina a 200 mM, con un porcentaje de germinación mucho menor, con un periodo de latencia de más de 5 días, tal como se aprecia bien en la figura 4.66 (baj.) que muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. El índice de velocidad de germinación también tiene un valor similar al del control. Por último, consigue germinar a 300 mM aunque con valores semejantes a 200 mM, pero con un índice de velocidad de germinación de 34. A 400 y 500 mM no se consigue germinación.

La tabla 4.27 muestra los datos de medias y desviaciones típicas de la figura 4.66 (baj.), así como el resultado del test de Lilliefors. Se aprecian desviaciones típicas bastante elevadas en los resultados de porcentaje de germinación.

La figura 4.67 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad. Indica que hay tres grupos significativamente diferentes: uno es el control, otro incluye las condiciones 100, 200 y 300 mM, y el último grupo incluye las dos condiciones a las que no hay germinación.

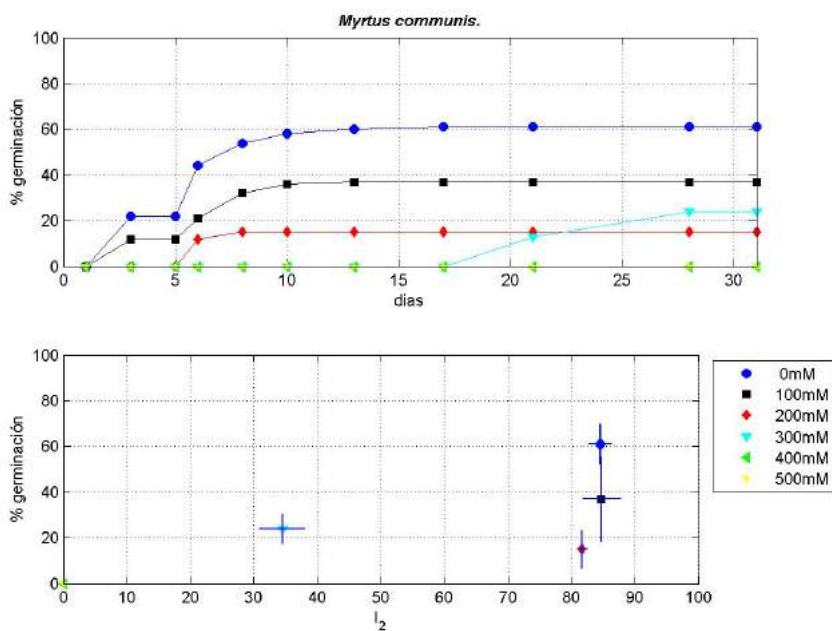


Fig. 4.66: *Myrtus communis*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj.) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Myrtus communis</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	%G	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
25/15°C , 0mM	61.00	8.87	84.53	1.80	1	1
25/15°C , 100mM	37.00	18.58	84.76	3.02	0	0
25/15°C , 200mM	15.00	8.25	81.69	0.74	0	0
25/15°C , 300mM	24.00	6.53	34.50	3.57	0	1
25/15°C , 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
25/15°C , 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.27: *Myrtus communis*. Porcentaje de germinación (%G) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.67 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a distintas concentraciones salinas. Muestra que hay tres grupos significativamente diferentes. El primer grupo es el control, 100 y 200 mM, el segundo de 300 mM, y el tercero las condiciones a las que no hay germinación.

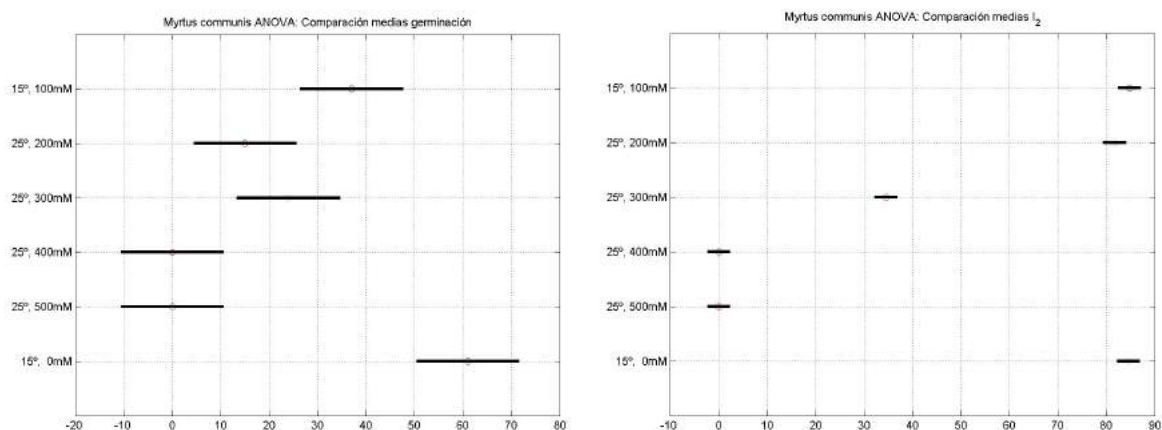


Fig. 4.67: *Myrtus communis*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (der.) y velocidades de germinación (izq.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
25/15°C , 0mM	70.32	6.31
25/15°C , 100mM	53.91	1.21
25/15°C , 200mM	38.50	5.59
25/15°C , 300mM	2.90	5.05
25/15°C , 400mM	0.00	0.00
25/15°C , 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.28: *Myrtus communis*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.28 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.68 (der.). Se puede observar que hay un descenso muy progresivo, prácticamente lineal hasta 300mM, a partir del cual si hay una brusca caída del índice hasta el valor cero.

En la figura 4.68 (izq.) el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación muestra cuatro grupos: control, 100 mM, 200 y 300 mM y el resto de condiciones, con cierto solapamiento entre grupos consecutivos.

La figura 4.69 muestra los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje y la velocidad de germinación. Se observa muy claramente como al aumentar la concentración salina cae el porcentaje de germinación, mientras que la velocidad de germinación se ve muy poco afectada hasta valores altos de concentración salina, a partir de los

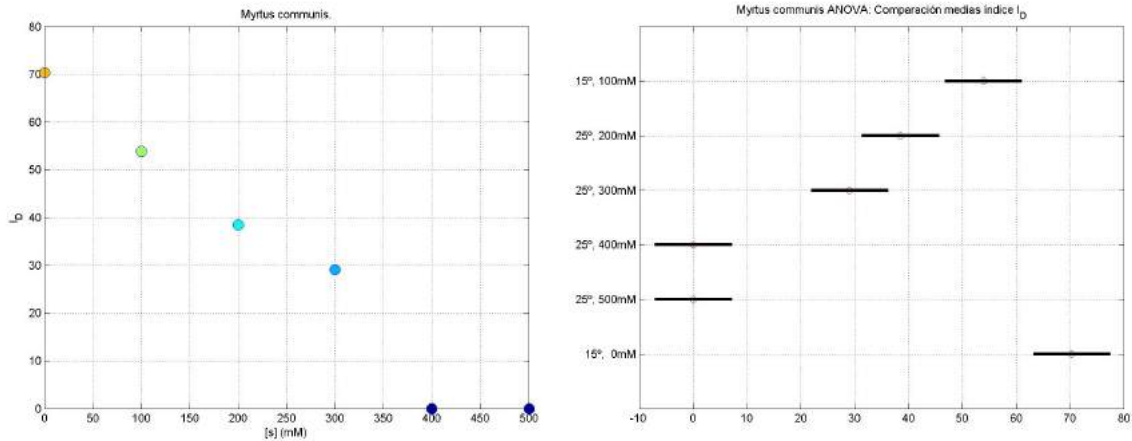


Fig. 4.68: *Myrtus communis*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

cuales aumenta mucho el periodo de latencia. Si bien las gráficas muestran que el porcentaje de germinación es mayor a 300 mM que a 200 mM, debe tenerse en cuenta que, tal como muestra el análisis ANOVA de medias de porcentaje de germinación, estadísticamente no se pueden distinguir ambos casos.

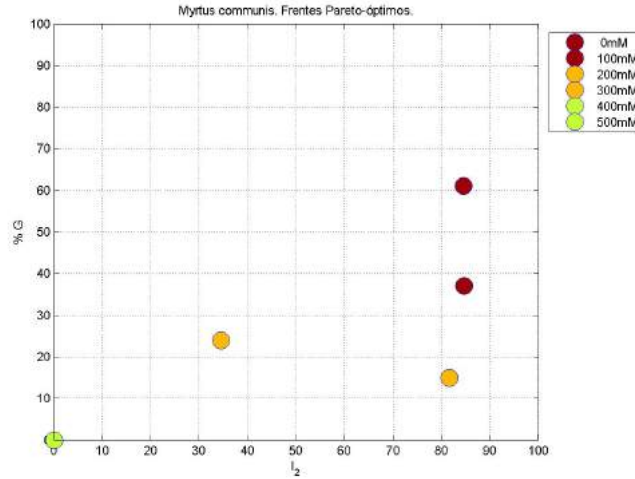


Fig. 4.69: *Myrtus communis*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

Finalmente, la gráfica 4.70 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación, I_2 , expresado en días, vs. la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,82$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 7,34$ MPa día.

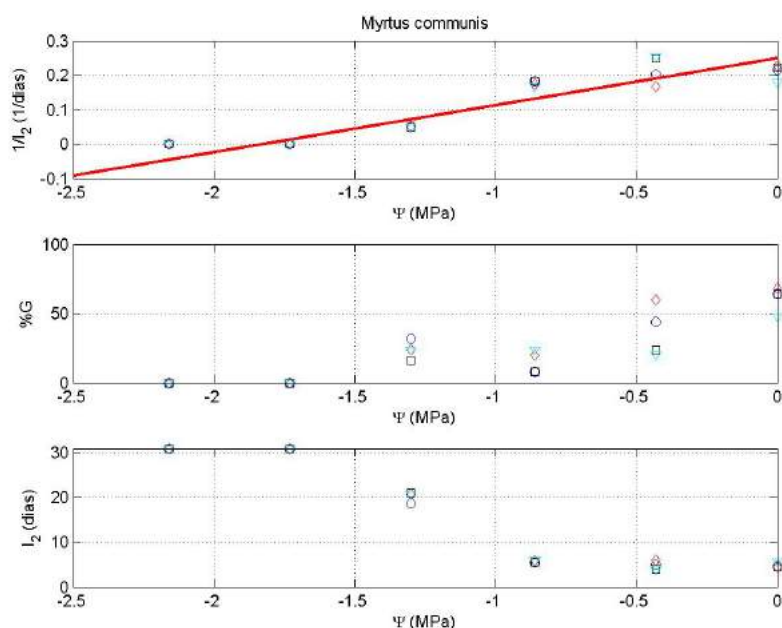


Fig. 4.70: *Myrtus communis*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

4.2.15. *Ephedra distachya* L.

El mejor resultado se obtuvo con la condición 100 mM, con una porcentaje de germinación de 15 % y un índice de velocidad de germinación de 69. El control obtuvo peores resultados: un 8 % en porcentaje de germinación y 38 de índice de velocidad de germinación. Llegó a germinar a 200 mM y, a 300, 400 y 500 mM no se obtuvo germinación alguna. En la gráfica 4.71 (arr.) se muestra la evolución en el tiempo del porcentaje de germinación. Se ve que el máximo de germinación no llega a 20 %. El patrón que se sigue es el mismo para las condiciones que presentan germinación. En el control y 100 mM la germinación comienza pasados los cinco días, mientras que en 200 mM pasados los diez días. A 300, 400 y 500 mM no hay germinación. No obstante estos resultados, tanto en 100 como en 200 mM la dispersión de los datos es muy grande, especialmente en el índice de velocidad de germinación, como se puede apreciar en la gráfica 4.71 (baj.), y se observa también en la tabla 4.29 donde se muestran los valores de medias y desviaciones típicas y el resultado del test de Lilliefors. Por tanto, en esta especie, se pueden obtener resultados indicativos, pero con cierta cautela.

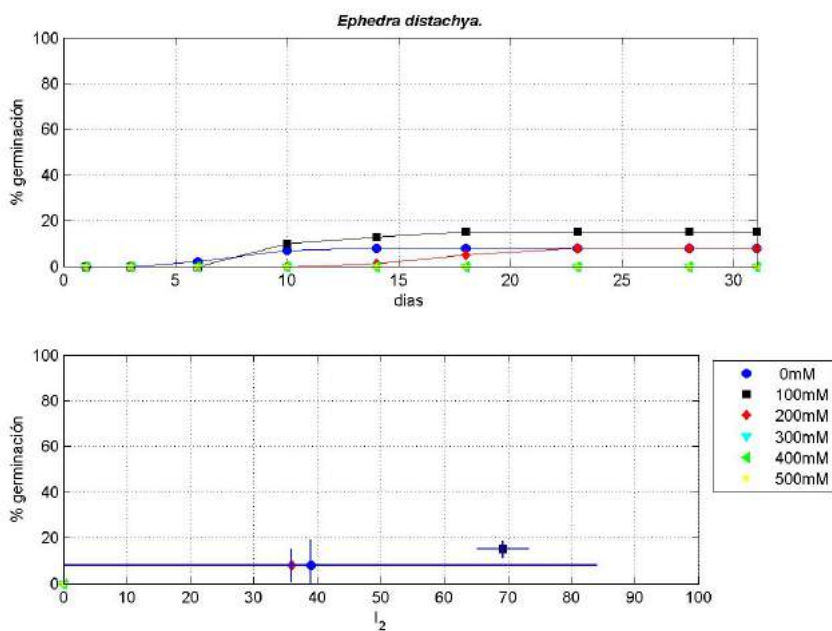


Fig. 4.71: *Ephedra distachya*. (arr.) Evolución diaria del porcentaje medio de germinación para cada condición experimental. (baj) Porcentaje final medio de germinación *vs.* índice de velocidad de germinación (I_2).

<i>Ephedra distachya</i>						
Tratamiento	Germinación (%)		Velocidad (I_2)		Test de Lilliefors	
	$\%G$	σ	\bar{I}_2	σ	N(G)	N(I_2)
30°/10°, 0mM	8.00	11.31	38.94	45.02	0	0
30°/10°, 100mM	15.00	3.83	69.21	4.04	0	0
30°/10°, 200mM	8.00	7.30	35.88	23.97	0	1
30°/10°, 300mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
30°/10°, 400mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
30°/10°, 500mM	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0

Tabla 4.29: *Ephedra distachya*. Porcentaje de germinación ($\%G$) y velocidad de germinación (I_2) a las diferentes condiciones salinas: media ($\bar{\%G}$, \bar{I}_2) y desviación típica (σ). Test de Lilliefors para ambas variables.

La figura 4.72 (der.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias de germinación para los distintos tratamientos de salinidad indica que, estrictamente, no hay grupos significativamente diferentes.

La figura 4.72 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice de velocidad de germinación (I_2) a las distintas concentraciones salinas. Proporciona el mismo resultado que el análisis ANOVA anterior.

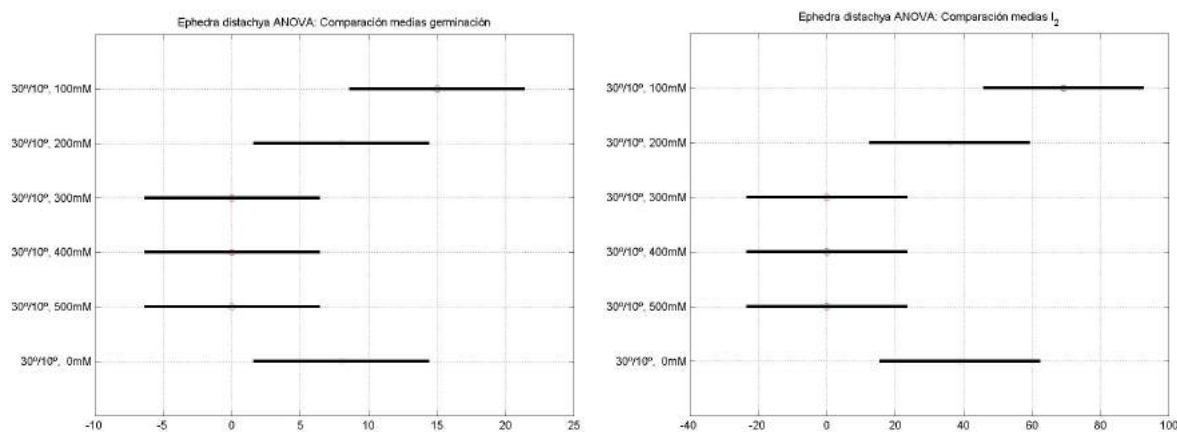


Fig. 4.72: *Ephedra distachya*. Análisis ANOVA de comparación de medias de porcentaje de germinación (izq.) y velocidades de germinación (der.).

Tratamiento	Índice I_D	
	\bar{I}_D	σ
30/10°C , 0mM	19.24	2.26
30/10°C , 100mM	36.05	3.40
30/10°C , 200mM	20.11	1.37
30/10°C , 300mM	0.00	0.00
30/10°C , 400mM	0.00	0.00
30/10°C , 500mM	0.00	0.00

Tabla 4.30: *Ephedra distachya*. I_D : media (\bar{I}_D) y desviación típica (σ) para las condiciones estudiadas.

La tabla 4.30 muestra los datos del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad de germinación frente a concentración de sal, cuya representación gráfica se muestra en la figura 4.73 (der.). Se puede observar que hay un descenso progresivo comenzando por el 100 mM con un valor cercano a 35, después la condición de control y 200 mM con un valor de 20. Por último, con un valor de 0, están las condiciones a las que no hay germinación. En esta especie el valor del índice ponderado de porcentaje de germinación y velocidad es el más bajo de todas las especies estudiadas

La figura 4.73 (izq.) muestra el análisis ANOVA que compara las medias del índice ponderado de porcentaje y velocidad de germinación. Muestra los mismos resultados que los análisis ANOVA anteriores.

La figura 4.74 muestra los frentes Pareto-óptimos para el porcentaje de germinación y la velocidad de germinación. Se puede observar que la mejor condición es 100

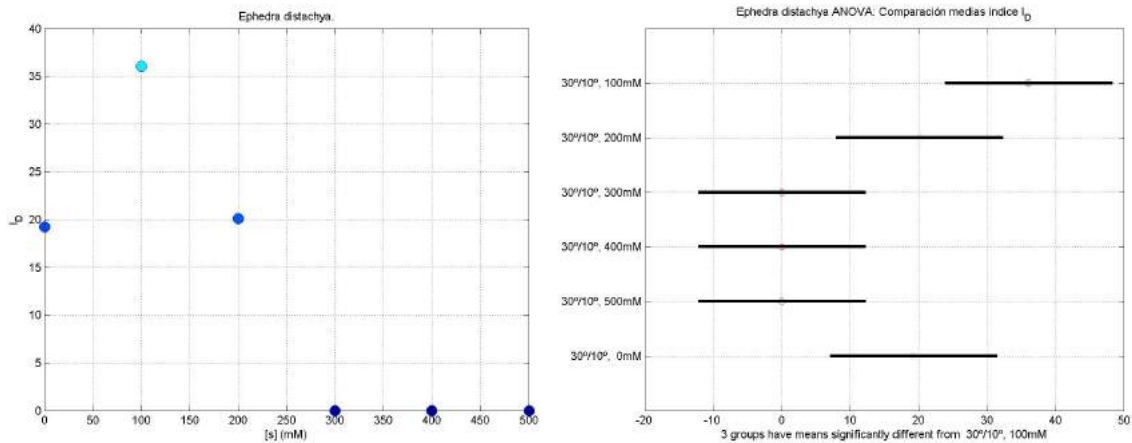


Fig. 4.73: *Ephedra distachya*. Representación gráfica de I_D (der.) y análisis ANOVA del mismo (izq.).

mM, seguida de 200 mM y control. Por último estarían las condiciones a las que no hay germinación.

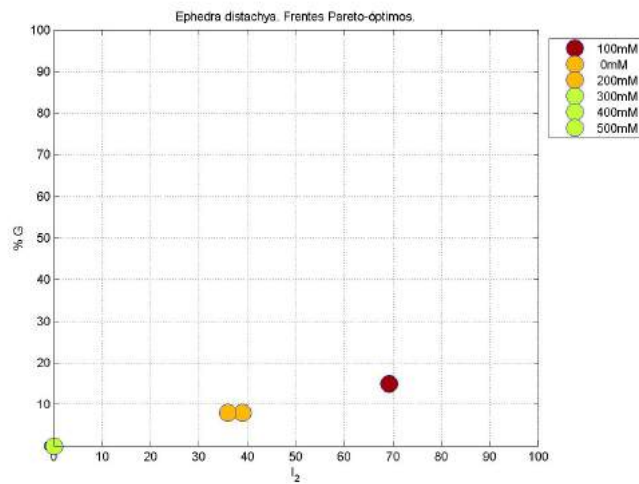


Fig. 4.74: *Ephedra distachya*. Frentes Pareto-óptimos referentes a la tolerancia a sal.

Finalmente, la gráfica 4.75 se representa la inversa del tiempo de germinación, obtenido a partir del índice de velocidad de germinación, I_2 , expresado en días, *vs.* la concentración salina del medio de germinación expresada como potencial osmótico. El valor obtenido mediante recta de regresión para el potencial osmótico base es de $\Psi_b = -1,52$ MPa. El valor del hidrotiempo, es $\Theta = 15,33$ MPa día.

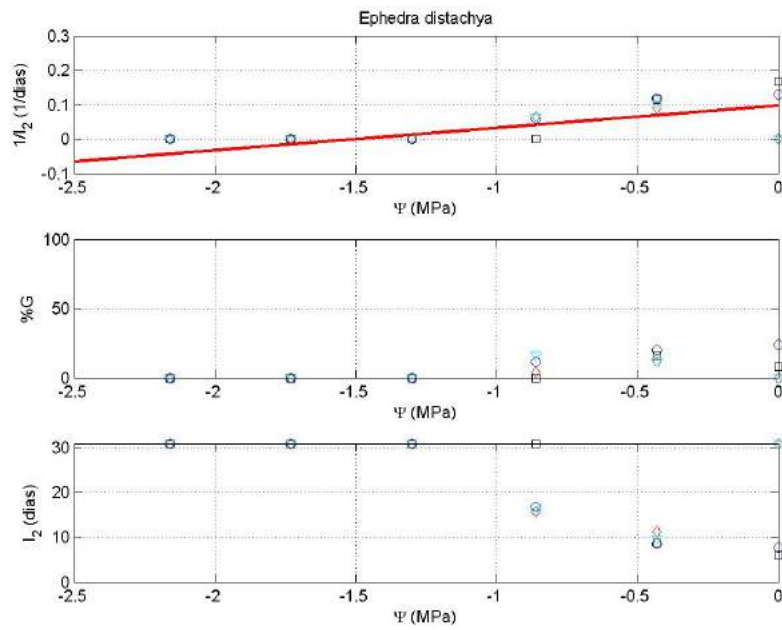


Fig. 4.75: *Ephedra distachya*. Gráficas de la respuesta germinativa respecto de las temperaturas constantes: Inversa de I_2 (línea de regresión para el cálculo del potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ)), porcentajes de germinación e I_2 .

5 Análisis de resultados

5.1. Resultados y análisis por Clase

En este capítulo se muestra un resumen de los resultados organizados por clases de vegetación, con el fin de identificar patrones de comportamiento. Se analizan de forma conjunta y se comparan los resultados de todas las especies estudiadas de una misma clase.

Para cada grupo de especies se hace un estudio comparativo de las temperaturas óptimas a las que se obtienen los mejores porcentajes de germinación, la mejor velocidad (I_2) y los mejores valores del Índice de Optimalidad (I_D) que selecciona las mejores condiciones, ponderando, de manera conjunta, porcentaje y velocidad de germinación.

Para estos tres parámetros se muestran gráficas en las que se representan como puntos rojos los regímenes de temperatura que se consideran óptimos, es decir, aquellos con los mejores valores para el factor analizado y que son estadísticamente iguales, según el análisis ANOVA utilizado. En estas gráficas se muestran los resultados sobre el área de estudio, que incluye el conjunto de temperaturas más probables en las épocas de germinación de las semillas de las especies estudiadas, así como algunos valores extremos (10°C , $30/10^\circ\text{C}$ y $40/20^\circ\text{C}$), considerados para detectar tolerancias a valores poco frecuentes. En cada gráfica se representa un punto azul que corresponde al valor medio del conjunto de temperaturas experimentales óptimas.

Junto con estas representaciones gráficas se incluyen también una serie de dendrogramas en aquellas clases con más de dos especies estudiadas (*Ammophiletea arenariae* y *Quercetea ilicis*).

También se representa mediante diagramas la estimación de las regiones para las cuales se obtienen valores óptimos de I_D , en la región de condiciones experimentales estudiadas, a tres niveles ($I_D > 75\%$, $I_D > 85\%$ y $I_D > 90\%$) para las especies de cada una de las clases.

Finalmente se calculan las rectas de regresión resultado de representar la inversa de la velocidad de germinación (I_2) frente a las temperaturas constantes y frente al potencial osmótico respectivamente. A partir de ellas se obtiene la temperatura base (T_b), el tiempo térmico (S), el potencial hídrico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ), por clase de vegetación. Estos parámetros teóricos muestran la variación del comportamiento de la velocidad de germinación de las diferentes especies entre los valores óptimos de temperatura constante o potencial hídrico, y aquellos valores por debajo de los cuales no se espera germinación. Por tanto, sirven para comparar la rapidez de respuesta y con ello la competitividad entre especies respecto al factor estudiado.

5.1.1. Clase *Cakiletea maritima*

Cuando se analizan los porcentajes de germinación obtenidos a las distintas temperaturas, figura 5.1, se observa que la característica común a las especies estudiadas, *Cakile maritima* y *Glaucium flavum* es la preferencia por regímenes de temperaturas alternos, con diferencias entre las temperaturas diurnas y nocturnas que pueden alcanzar los 20°C . Las temperaturas mínimas se sitúan preferentemente en el rango entre 10-15°C y las máximas son altas, entre los 25 y 30°C .

Los valores de velocidad de germinación, (I_2), figura 5.2, también muestran esta preferencia por las condiciones de temperatura alterna para ambas especies. A pesar de ello, *C. maritima* se muestra menos específica, germinando también con rapidez en las condiciones de temperatura constante, aunque los porcentajes de germinación son menores.

La representación de los valores del índice I_D , figura 5.3, sigue mostrando el mismo patrón de comportamiento. *G. flavum* mantiene su carácter estricto de respuesta germinativa en regímenes alternantes, mientras que *C. maritima* muestra también un valor óptimo de I_D a la temperatura constante de 20°C .

En la figura 5.4 se representa la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D mayores que el 75 %, 85 % y 90 % respectivamente, del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales ($I_{D,máx}$). Las áreas van reduciendo conforme aumentamos el porcentaje, ya que se están exigiendo condiciones de temperatura que conduzcan a valores de I_D más próximos al máximo alcanzado para la especie. Cuando se representa la región $I_D > 75 \% I_{D,máx}$ se observa la mayor amplitud de respuesta de *C. maritima*, a diferentes temperaturas, tal y como se ha comentado anteriormente. Con valo-

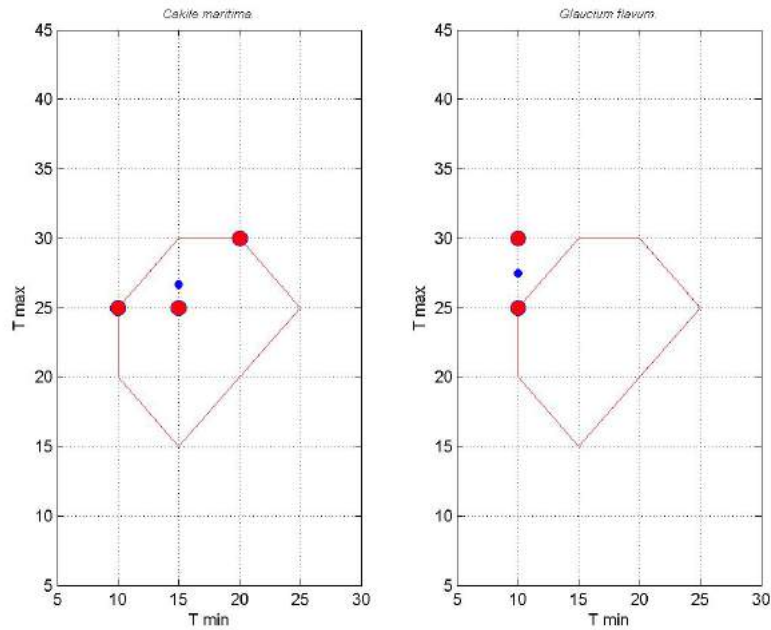


Fig. 5.1: Temperaturas en las que se obtiene un porcentaje de germinación óptimo en las especies estudiadas de la clase *Cakiletea maritimae*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

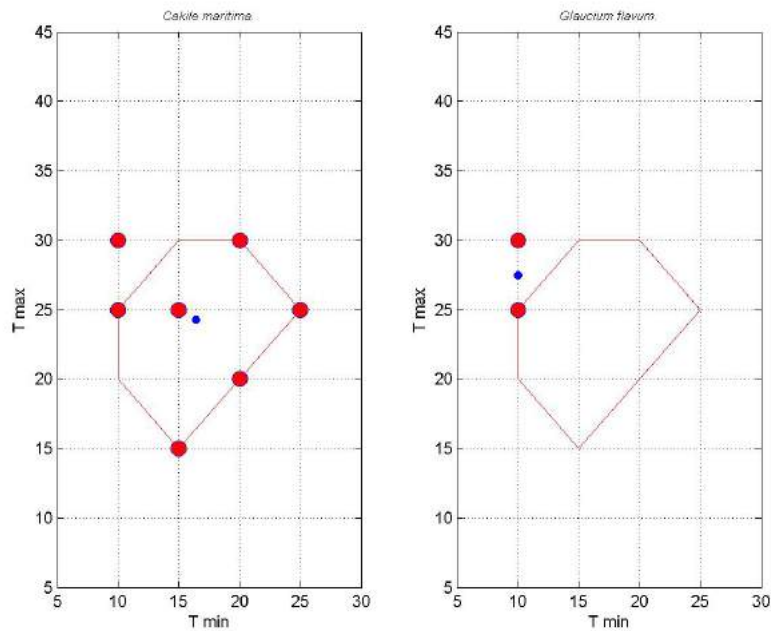


Fig. 5.2: Temperaturas en las que se obtiene una velocidad de germinación (I_2) óptima en las especies estudiadas de la clase *Cakiletea maritimae*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

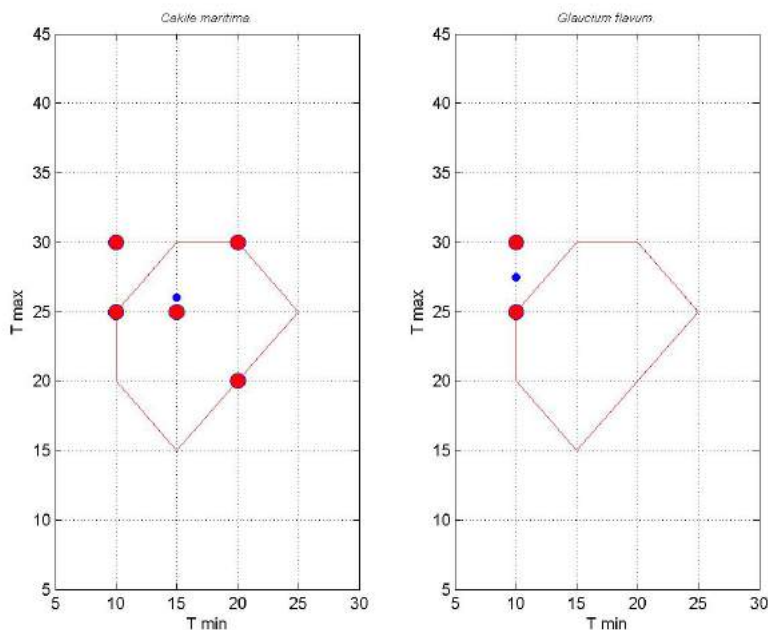


Fig. 5.3: Temperaturas en las que se obtienen valores del Índice de Optimalidad (I_D) óptimos en las especies de la clase *Cakiletea maritima*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

res de $I_D > 90\%I_{D,\text{máx}}$ se observa que ambas especies restringen su rango óptimo hacia los regímenes de temperatura alternante y temperaturas nocturnas frías. En definitiva, conforme exigimos respuestas más alejadas del óptimo, *C. maritima* es capaz de germinar en una región de condiciones mucho más amplia que la requerida para germinar en condiciones muy cercanas a la óptima. No ocurre lo mismo con *G. flavum*, que es mucho más restrictiva en cuanto a las condiciones necesarias.

Cuando se representan conjuntamente la inversa de la velocidad I_2 frente a condiciones de germinación con temperaturas constantes, figura 5.5, en la recta de regresión resultante se observa que *C. maritima* presenta un valor de temperatura base, T_b , menor que *G. flavum*, y una pendiente, $1/S$, ligeramente mayor (tabla 5.1). Las líneas de regresión no se cruzan en ningún momento, de manera que *C. maritima* queda siempre por encima de *G. flavum*. Estos resultados indican que en condiciones de temperatura constante, *C. maritima* es más competitiva que *G. flavum*. *C. maritima* puede germinar a temperaturas más bajas que *G. flavum*.

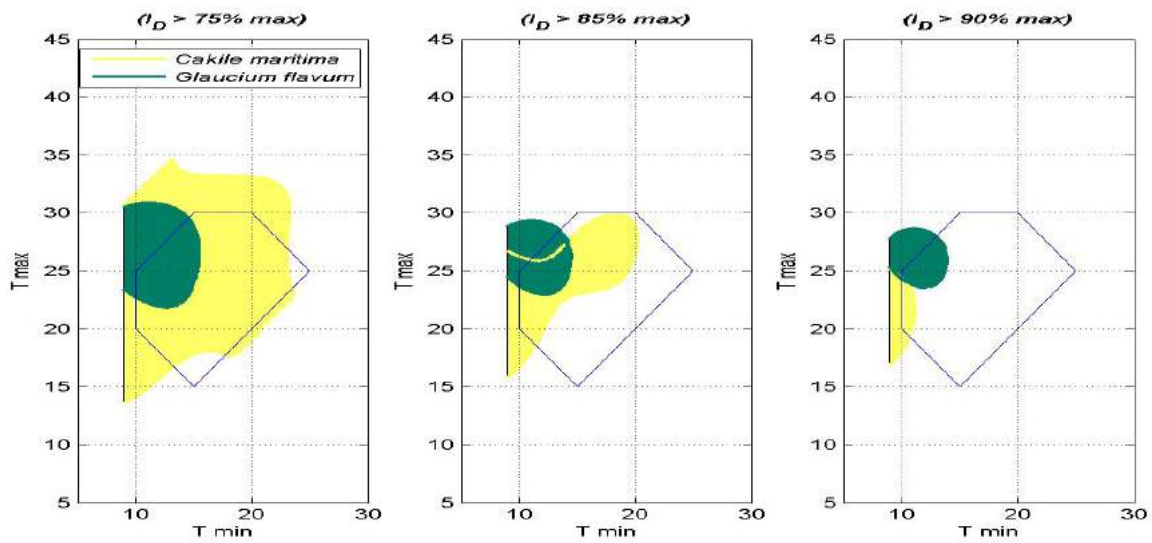


Fig. 5.4: Representación de la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D a tres niveles, $I_D > 75\%$, $I_D > 85\%$ y al $I_D > 90\%$ del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales para cada una de las especies estudiadas de la clase *Cakiletea maritima*.

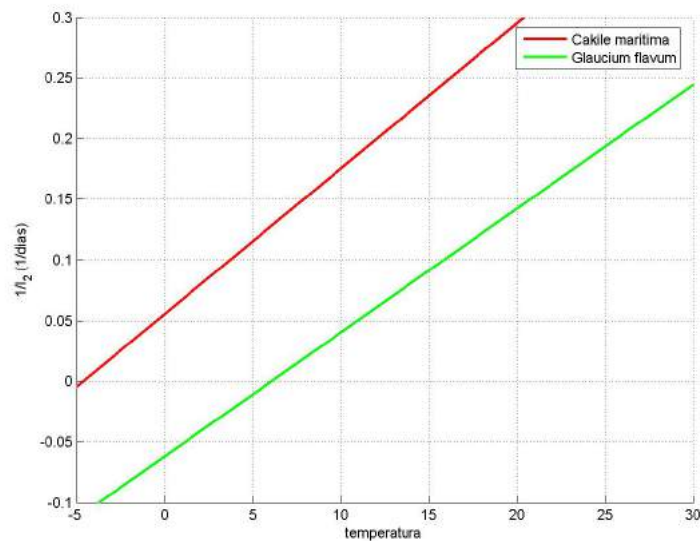


Fig. 5.5: Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación (I_2) frente a las temperaturas, utilizadas para el cálculo de T_b y S en las especies de la clase *Cakiletea maritima*.

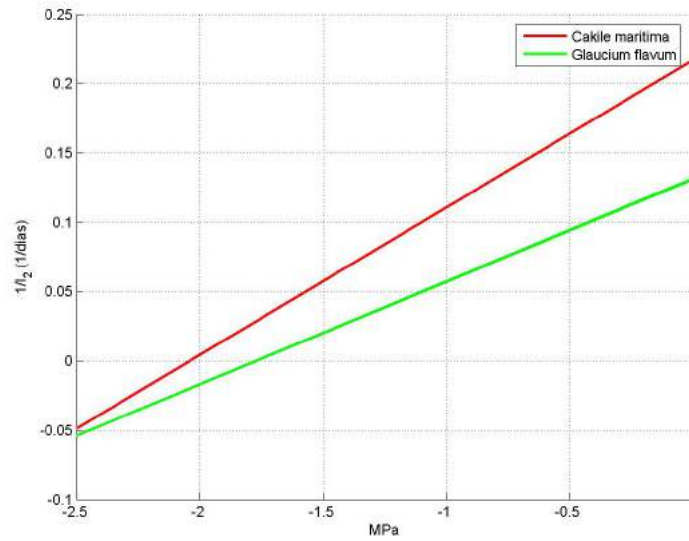


Fig. 5.6: Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación (I_2) frente a la variación de potencial osmótico del medio, utilizadas para el cálculo de Ψ_b y Θ para las especies estudiadas de la clase *Cakiletea maritima*.

Al representar la inversa de la velocidad (I_2) frente al gradiente de potencial osmótico, figura 5.6, *C. maritima* muestra también mayor competitividad que *G. flavum* en el rango de condiciones salinas estudiadas. El potencial hídrico base, Ψ_b , que marca el límite de tolerancia a la presencia de sal, es menor en *Cakile maritima* (es decir, soporta mayor concentración salina) y el hidrotiempo, Θ , es menor (tabla 5.1). Que la pendiente de la recta de *C. maritima* sea mayor indica que la velocidad de germinación se incrementa rápidamente cuando disminuye la concentración de sal en el medio.

Especie	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$S(^{\circ}\text{C} \text{ día})$	$\Psi_b(\text{MPa})$	$\Theta(\text{Mpa día})$
<i>Cakile maritima</i>	-4.58	83.31	-2.04	9.40
<i>Glaucium flavum</i>	6.08	97.99	-1.80	13.50

Tabla 5.1: Valores de T_b , S , Ψ_b y Θ para las especies de la clase *Cakiletea maritima*.

5.1.2. Clase *Ammophiletea arenariae*

Cuando se comparan las respuestas de los porcentajes de germinación de las especies consideradas (*Elymus farctus*, *Calystegia soldanella*, *Medicago marina*, *Lotus creticus*, *Malcolmia littorea*, *Pancratium maritimum* y *Crucianella maritima*), figura 5.7 (arr.), se observa un rango de temperaturas óptimas muy amplio. A diferencia

de la clase anterior, se obtienen buenos resultados tanto en temperaturas constantes como en alternas. *C. soldanella* y *M. marina* muestran respuestas óptimas en todo el rango de temperaturas estudiadas. La única excepción que se observa es *C. maritima*, con un rango de temperaturas óptimas mucho menor que el resto, que queda restringido a temperaturas constantes, entre 15°C y 20°C . En la figura 5.7 (baj.) se representa un dendrograma de proximidad de especies respecto a esta variable.

Cuando se analiza la velocidad de germinación, figura 5.8 (arr.), se observa que la mayoría de las especies también germinan rápidamente en un amplio rango de temperaturas. *C. soldanella* y *P. maritimum*, muestran un comportamiento diferente, con respuestas rápidas a temperaturas altas, especialmente a 25°C y 30-20°C . En figura 5.8 (baj.) se muestra el dendrograma de proximidad para la variable velocidad de germinación.

Al ponderar los valores del porcentaje y la velocidad de germinación (I_D), figura 5.9 (arr.), únicamente se separa del grupo la especie *Pancratium maritimum*, figura 5.9 (baj.), que restringe su respuesta óptima a las temperaturas de 25°C y 30-20°C . El resto de especies muestran respuestas óptimas en un rango mucho más amplio de temperaturas, con un valor medio, representado mediante un punto azul, que corresponde a temperaturas nocturnas alrededor de 15°C y diurnas próximas a 25°C .

En la figura 5.10 se representa la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D mayores que el 75 %, 85 % y 90 % respectivamente, del valor máximo del I_D que se obtuvo a todas las condiciones experimentales ($I_{D,máx}$). Para un $I_D > 75\% de I_{D,máx}$ todas las especies responden positivamente en un rango bastante amplio de condiciones térmicas. Al aumentar hasta el 90 % se observa como *L. creticus* es la especie que responde en un rango más amplio de temperaturas, seguida por *E. farctus* y *M. marina*. *C. maritima* desplaza su óptimo hacia temperaturas relativamente altas, con medias, en general, por encima de los 20°C . *C. soldanella* concentra su región de respuesta óptima hacia temperaturas alternantes con bastante diferencia entre máximas y mínimas, con máxima aproximadamente entre 27-33°C y mínimas entre 12-18°C . Finalmente, las respuestas óptimas de *P. maritimum* y *M. littorea* se desplazan hacia la izquierda del gráfico con preferencia por temperaturas alternantes, y medias por bajo de los 20°C .

Cuando representamos la inversa de la velocidad de germinación (I_2) respecto a las temperaturas constantes estudiadas, figura 5.11 (izq.), y se calculan las rectas

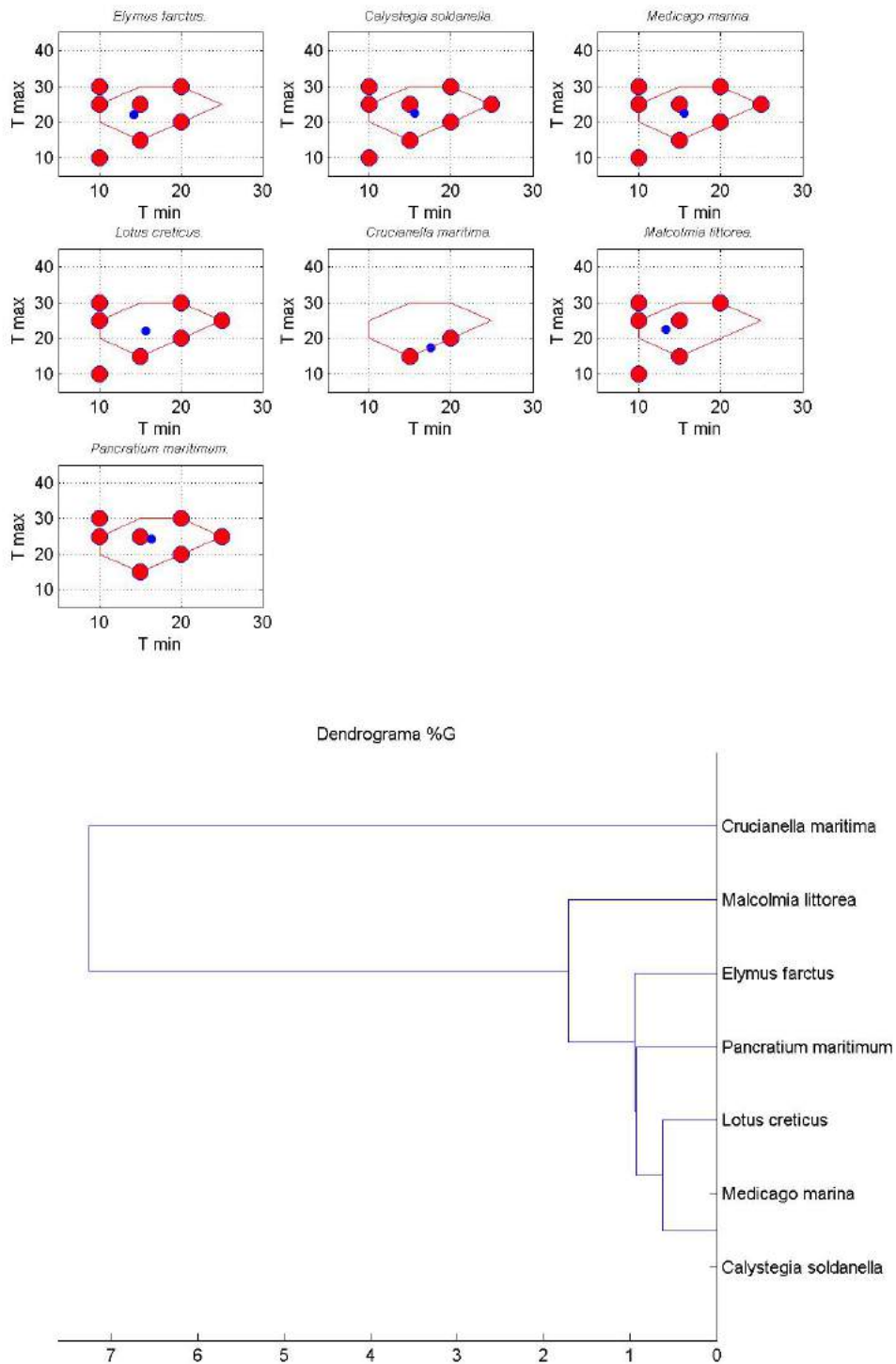


Fig. 5.7: Temperaturas en las que se obtiene un porcentaje de germinación óptimo en las especies estudiadas de la clase *Ammophyletea*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).

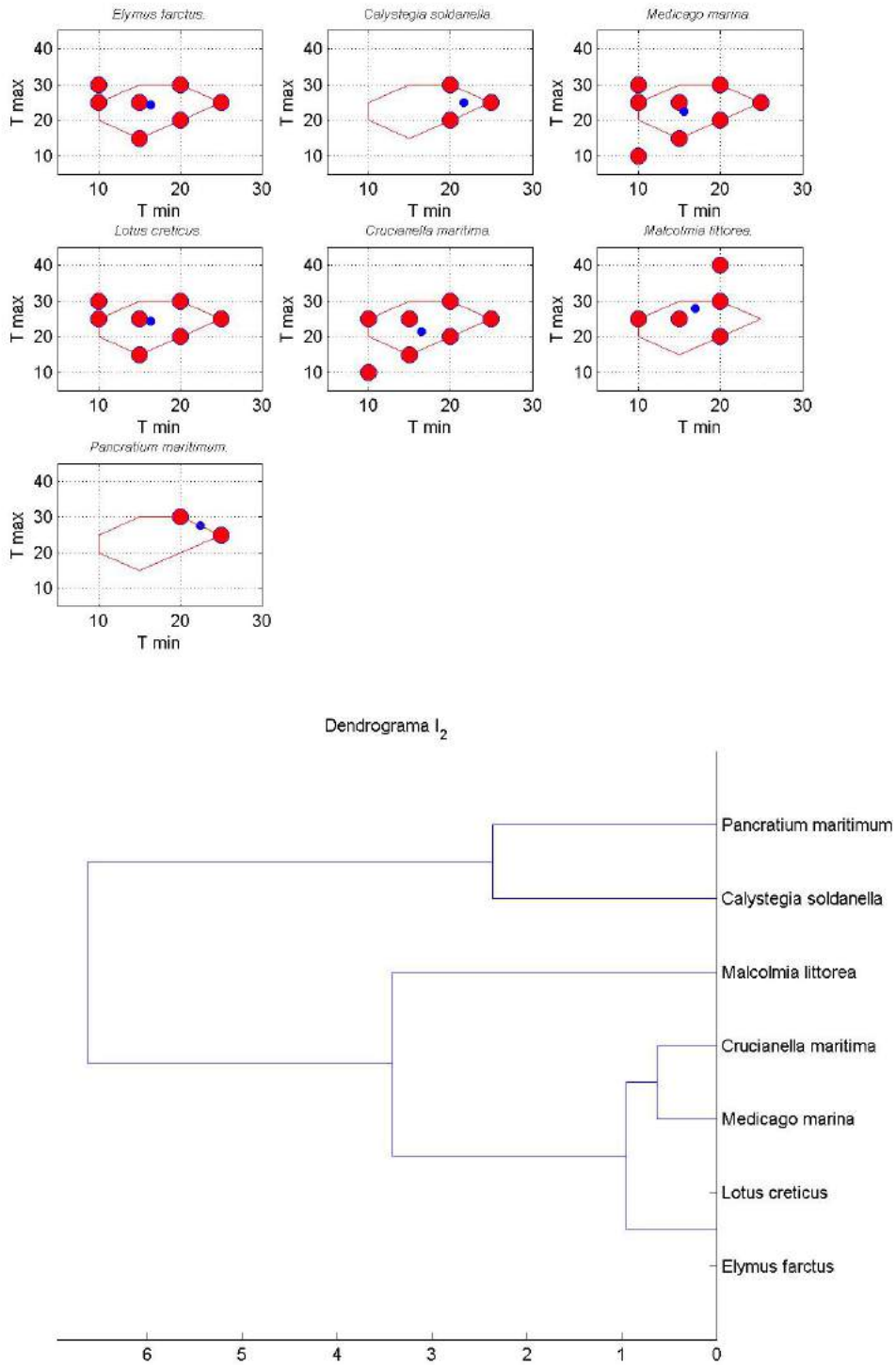


Fig. 5.8: Temperaturas en las que se obtiene una velocidad de germinación (I_2) óptima en las especies estudiadas de la clase *Ammophiletea*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).

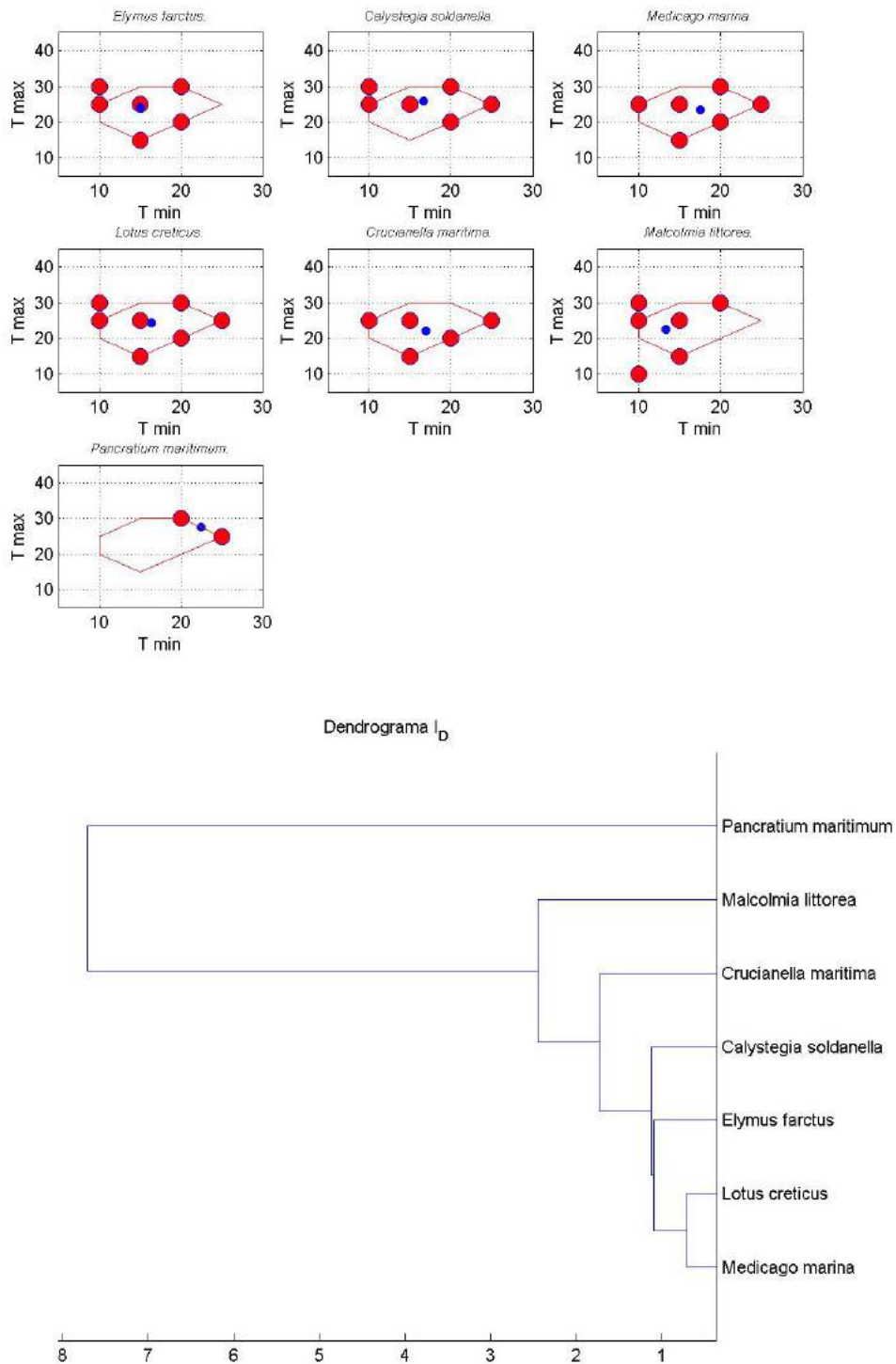


Fig. 5.9: Temperaturas en las que se obtienen valores del Índice de Optimalidad (I_D) óptimos en las especies de la clase *Ammophiletea*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).

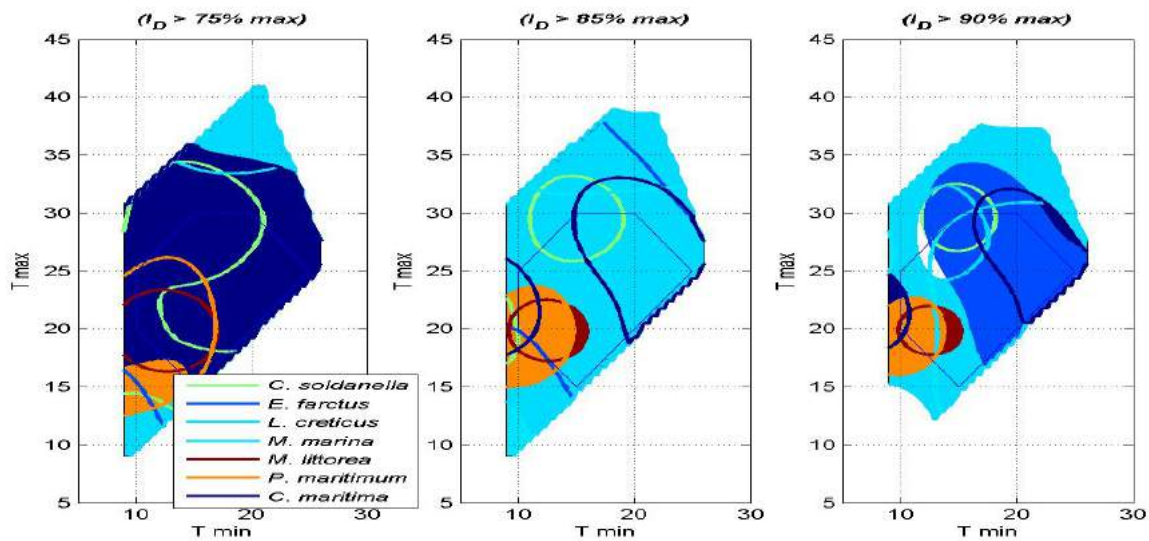


Fig. 5.10: Representación de la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D a tres niveles, $I_D > 75\%$, $I_D > 85\%$ y al $I_D > 90\%$ del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales para cada una de las especies estudiadas de la clase *Ammophiletea*.

de regresión, destacan las rectas correspondientes a *M. marina*, *M. littorea* y *L. creticus* con una mayor pendiente. Es decir, se observa para ellas mayor incremento de la velocidad de germinación al aumentar la temperatura que en el resto de las especies, 5.11 (der.).

Puede observarse también una tendencia general a aumentar la pendiente $1/S$ (disminuir el tiempo térmico) conforme aumenta la temperatura base, figura 5.11 (der.).

Estas especies, tabla 5.2, tienen valores de T_b de 4.72°C , 4.23°C y 7.42°C , respectivamente. Y se consideran más competitivas que el resto cuando la temperatura de germinación supera los $5-7^\circ\text{C}$. La especie menos competitiva es *P. maritimum*, cuya recta se sitúa por debajo de las demás, y por tanto su germinación es mucho más lenta que la de las otras especies estudiadas. Además, el hecho de que esta especie tenga menor pendiente indica que la temperatura tiene una menor influencia en la velocidad de germinación.

Cuando se representa las rectas de regresión correspondientes a la velocidad frente al potencial osmótico, figura 5.12 (izq.), se observa una situación muy similar. *M. marina*, *M. littorea* y *L. creticus* muestran una mayor pendiente, y por tanto estas especies muestran una mayor competitividad en valores de concentración salina bajas, con potencial osmótico superior a $-1,25$ MPa. Pero en general en este grupo se

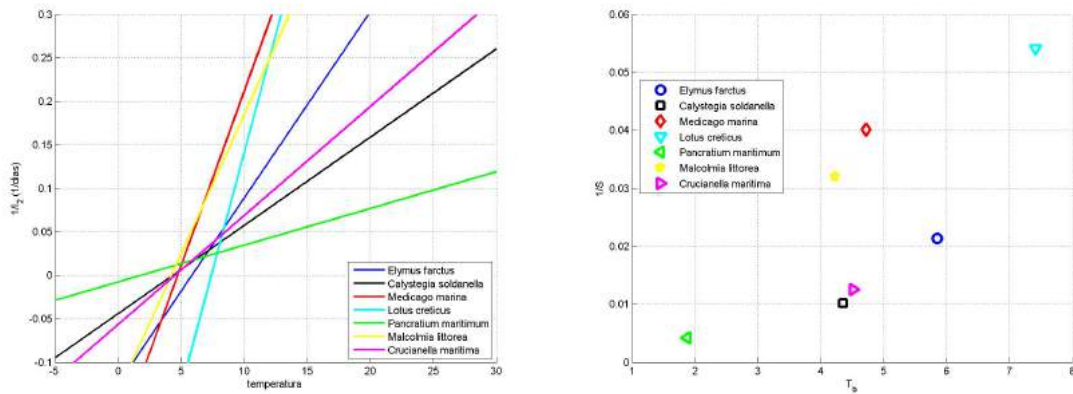


Fig. 5.11: (izq.) Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a las temperaturas utilizadas para el cálculo de T_b y S en las especies de la clase *Ammophiletea*. (der.) Representación de la pendiente ($1/S$) y la temperatura base (T_b) para cada recta.

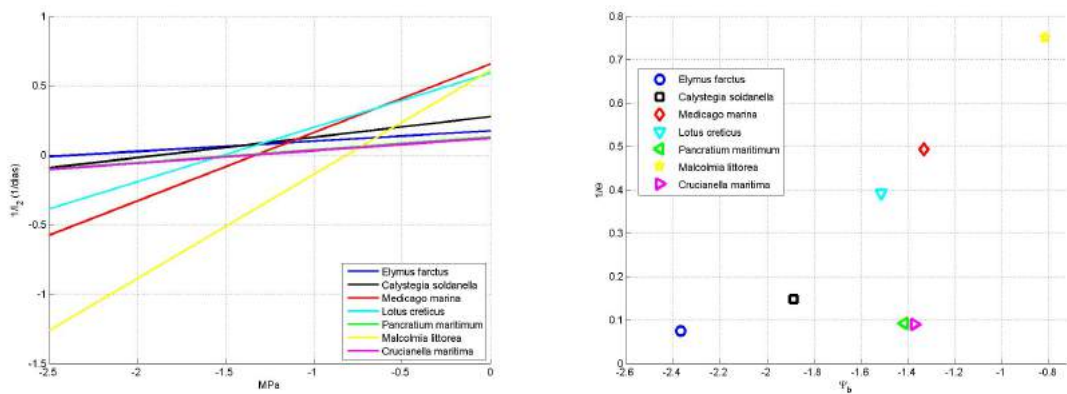


Fig. 5.12: (izq.) Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la variación de potencial osmótico del medio, utilizadas para el cálculo de Ψ_b y Θ para las especies estudiadas de la clase *Ammophiletea*. (der.) Representación de la pendiente ($1/\Theta$) y el potencial osmótico base (Ψ_b) para cada recta.

observa que las pendientes de las rectas de regresión son muy bajas, especialmente en las especies *E. farctus*, *C. maritima*, *C. soldanella* y *P. maritimum*, lo que indica que la velocidad de germinación se ve poco afectada por el incremento de la concentración de sal en el suelo. Se observa una tendencia general a aumentar la pendiente $1/\Theta$ (disminuir el hidrotiempo) conforme aumenta el potencial osmótico base, figura 5.12 (der.).

Con la menor pendiente y menor Ψ_b se encuentra *E. farctus*. Esta especie es la que tolera más sal en el medio, pero solo responde más rápidamente que las demás

especies en las concentraciones salinas más altas con potenciales por debajo de -1.5 MPa.

Especie	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$S(^{\circ}\text{C día})$	$\Psi_b(\text{Mpa})$	$\Theta(\text{Mpa día})$
<i>Elymus farctus</i>	5.86	46.76	-2.37	13.40
<i>Calystegia soldanella</i>	4.36	98.58	-1.89	6.79
<i>Medicago marina</i>	4.72	24.95	-1.33	2.03
<i>Lotus creticus</i>	7.42	18.50	-1.51	2.55
<i>Crucianella maritima</i>	4.53	79.83	-1.37	11.06
<i>Malcolmia littorea</i>	4.23	31.26	-0.82	1.33
<i>Pancratium maritimum</i>	1.87	236.79	-1.42	10.90

Tabla 5.2: Valores de T_b , S , Ψ_b y Θ para las especies de la clase *Ammophiletea*.

5.1.3. Clase *Rosmarinetea officinalis*

Los porcentajes de germinación en el barrido de temperaturas, velocidad de germinación e índice de optimalidad I_D de las especies consideradas de esta clase (*Halimium halimifolium* y *Teucrium dunense*) se muestran en las figuras 5.13, 5.14 y 5.15 respectivamente. Se aprecia, en el caso del porcentaje de germinación, que *H. halimifolium* puede germinar a temperaturas más bajas que *T. dunense*. Así mismo, las mejores velocidades de germinación se dan para temperaturas en general más bajas para *H. halimifolium*. Ambos resultados se trasladan de forma consistente al caso del índice I_D , que pondera porcentaje y velocidad de germinación, que *H. halimifolium* puede germinar a temperaturas más bajas que *T. dunense*. Así mismo, las mejores velocidades de

En la figura

En la figura 5.16 se observa que a un $I_D > 75\%$ los resultados coinciden con los mostrados en la figura 5.15, siendo *H. halimifolium* la especie que más área abarca, por llegar a tolerar temperaturas de 10°C constantes. Cuando se representa $I_D > 90\%$ el área de las dos especies acaba restringiéndose a una zona entorno a los 25°C de máxima y 20°C de mínima.

En la tabla 5.3 se muestran los valores obtenidos para T_b , S , Ψ_b y Θ .

Cuando se representa la inversa de la velocidad (I_2) respecto a las temperaturas constantes estudiadas (figura 5.17), se obtiene una recta de regresión con mayor pendiente para *H. halimifolium* que para *T. dunense* debido a que hay un mayor incremento en la velocidad de germinación de *H. halimifolium* cuando aumenta la temperatura del medio. De este modo, por encima del punto de intersección de

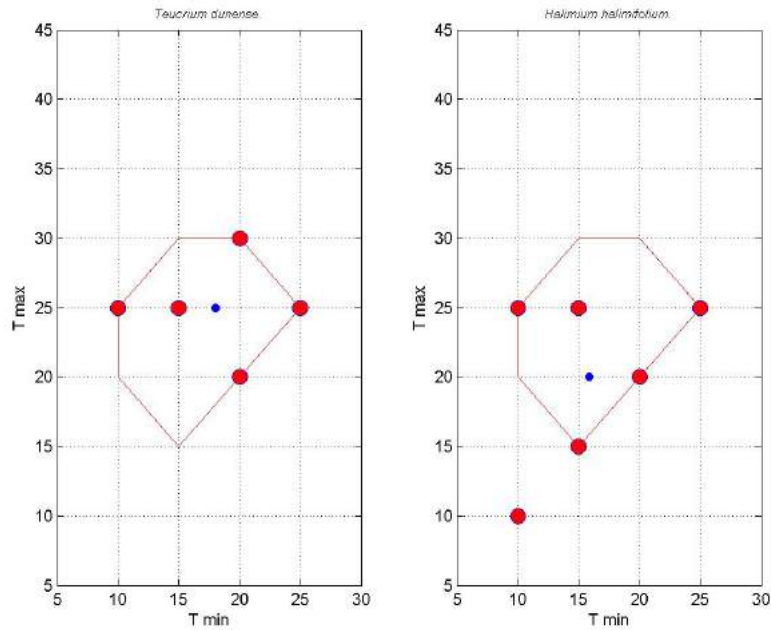


Fig. 5.13: Temperaturas en las que se obtiene un porcentaje de germinación óptimo en las especies estudiadas de la clase *Rosmarinetea officinalis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

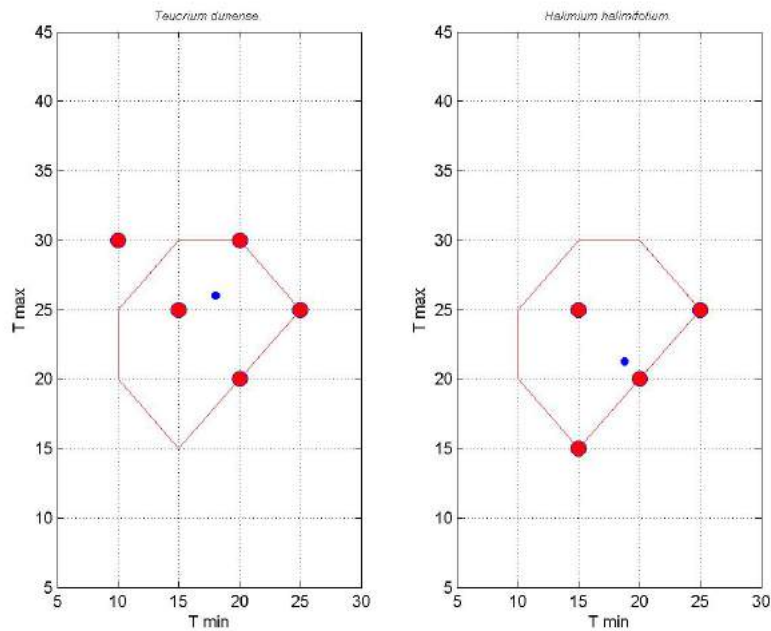


Fig. 5.14: Temperaturas en las que se obtiene una velocidad de germinación (I_2) óptima en las especies estudiadas de la clase *Rosmarinetea officinalis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

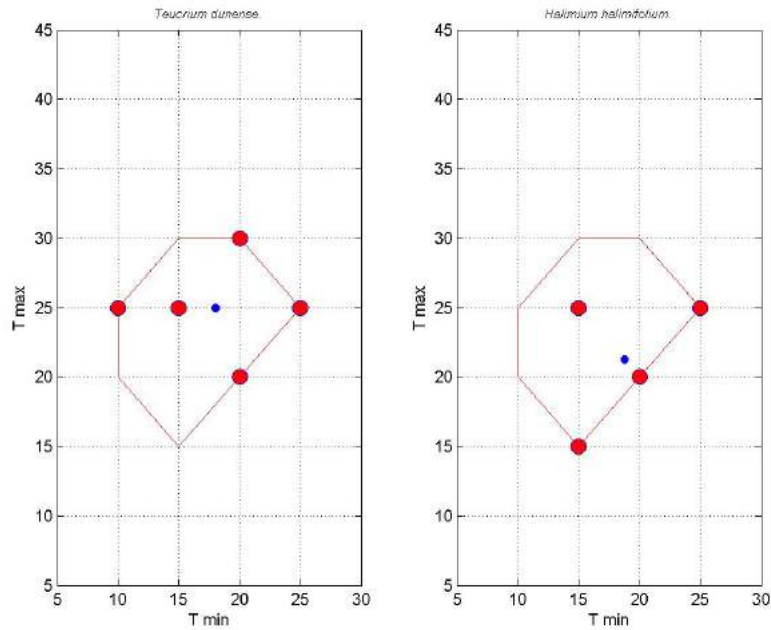


Fig. 5.15: Temperaturas en las que se obtienen valores del Índice de Optimalidad (I_D) óptimos en las especies de la clase *Rosmarinetea officinalis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas.

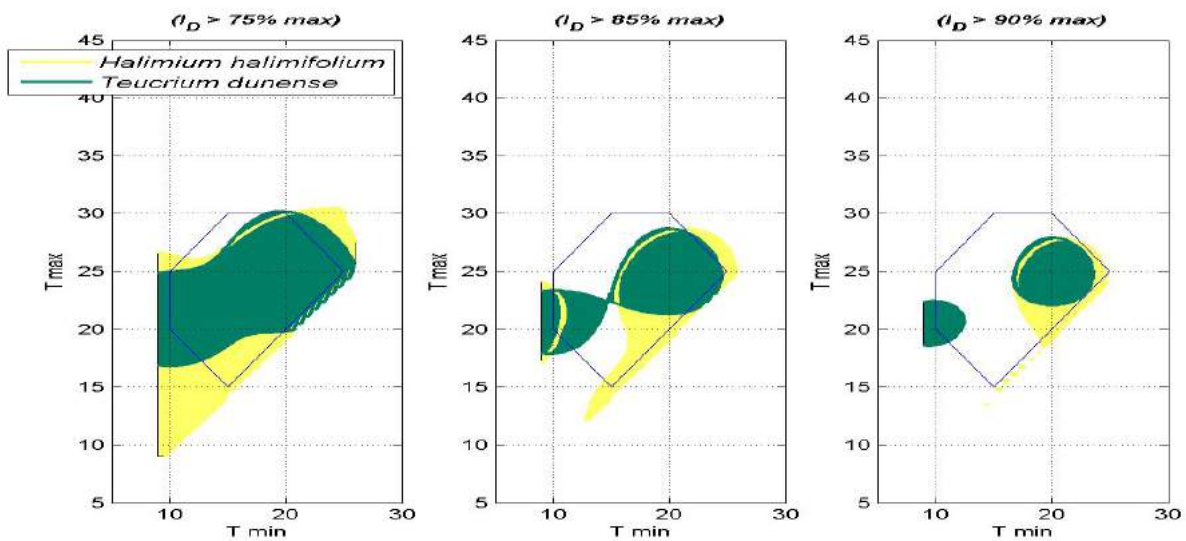


Fig. 5.16: Representación de la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D a tres niveles, $I_D > 75\%$, $I_D > 85\%$ y al $I_D > 90\%$ del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales para cada una de las especies estudiadas de la clase *Rosmarinetea officinalis*.

ambas rectas, que corresponde a aproximadamente 6.5°C , *H. halimifolium* resulta ser más competitiva.

En cuanto a la evolución de la velocidad respecto a los cambios de potencial osmótico (figura 5.18), *H. halimifolium* se muestra más competitiva solo en valores de potencial más altos, es decir cuando la concentración salina es menor. Cuando el potencial desciende por debajo del valor aproximado de -0.65 MPa , es *T. dunense* la especie más competitiva, ya que muestra un Ψ_b mucho menor, lo que nos indica que mantiene su capacidad germinativa a concentraciones salinas mayores.

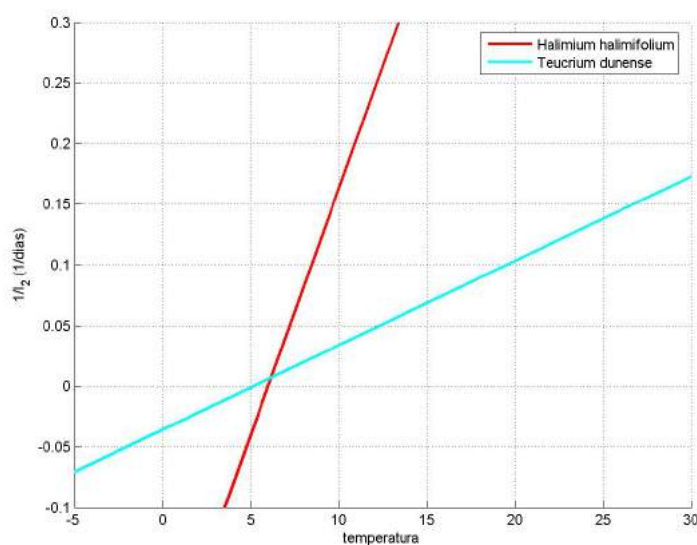


Fig. 5.17: Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la temperatura, utilizadas para el cálculo de T_b y S en las especies de la clase *Rosmarinetea officinalis*.

Especie	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$S(^{\circ}\text{C día})$	$\Psi_b(\text{Mpa})$	$\Theta(\text{Mpa día})$
<i>Teucrium dunense</i>	5.14	143.73	-1.54	15.11
<i>Halimium halimifolium</i>	5.99	24.68	-0.98	6.28

Tabla 5.3: Valores de T_b , S , Ψ_b y Θ para las especies de la clase *Rosmarinetea officinalis*.

5.1.4. Clase *Quercetea ilicis*

Se han considerado cuatro especies, *Phillyrea angustifolia*, *Ephedra distachya*, *Myrtus communis* y *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia*. Respecto al porcentaje de germinación, figura 5.19 (arr.) se ven preferencias dispares: *P. angustifolia*

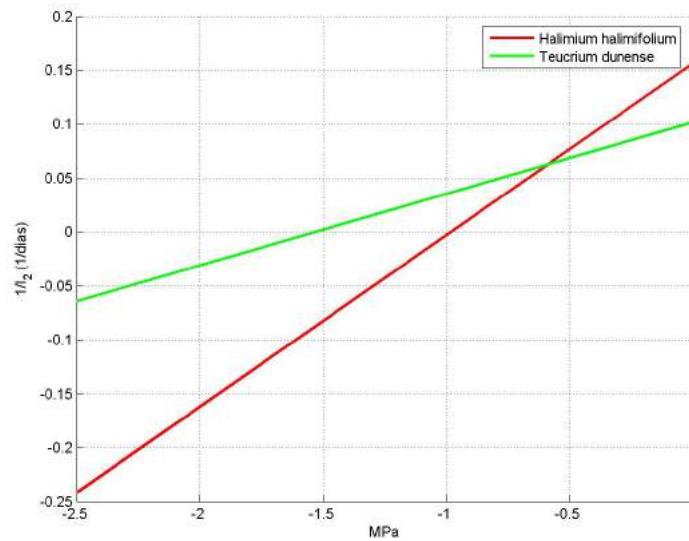


Fig. 5.18: Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la variación de potencial osmótico del medio, utilizadas para el cálculo de Ψ_b y Θ a la temperatura óptima para las especies estudiadas de la clase *Rosmarinetea officinalis*.

destaca por tener su óptimo a temperatura constante de 15°C . *R. oleoides subsp. angustifolia* y *M. communis* tienen un comportamiento similar, coincidiendo tanto en las temperaturas constantes como en las alternas, a excepción de $30/10^\circ\text{C}$. Y por último, *E. distachya* se diferencia por su preferencia por temperaturas alternas, con valores óptimos medios que se acercan a $25/15^\circ\text{C}$. En la figura 5.19 (baj.) se muestra el dendrograma de proximidad de especies para la variable temperatura.

En la figura 5.20 (arr.) referente a la velocidad de germinación (I_2) se observa un comportamiento muy similar entre las cuatro especies consideradas, con diferencias sólo en las temperaturas extremas. Estas ligeras diferencias dan lugar a un emparejamiento entre los comportamientos de *E. distachya* y *R. oleoides* por un lado, y *M. communis* y *P. angustifolia* por otro. En la figura 5.20 (baj.) se muestra el dendrograma de proximidad de especies para la variable velocidad de germinación.

Por otro lado, en la representación del índice de optimalidad I_D , figura 5.21 (arr.), *R. oleoides subsp. angustifolia* y *M. communis* tienen una respuesta similar. Las otras dos especies estudiadas presentan un rango menor de temperaturas óptimas. *P. angustifolia* germina mejor a temperaturas constantes entre 15°C y 20°C , mientras que *E. distachya* muestra su preferencia por temperaturas alternas. En la figura 5.21 (baj.) se muestra el dendrograma de proximidad de especies para el Índice de Optimalidad, la especie que más se separa del grupo es *P. angustifolia*.

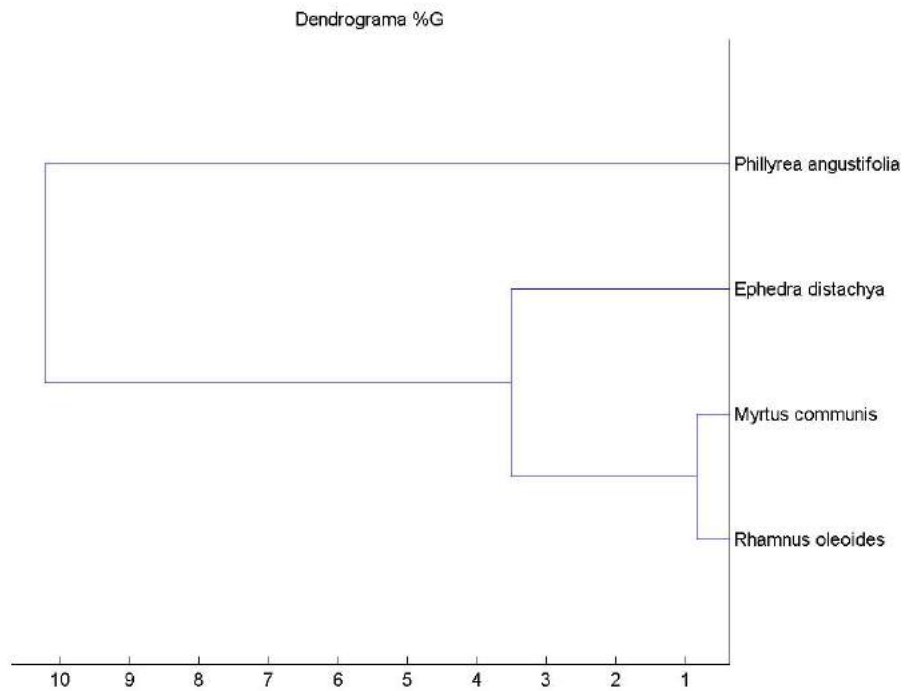
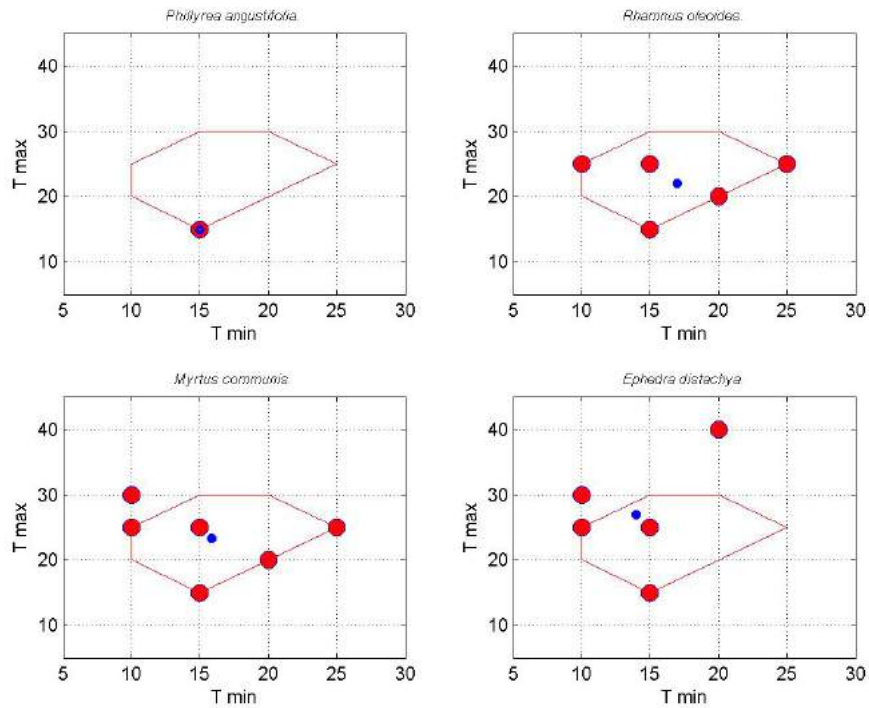
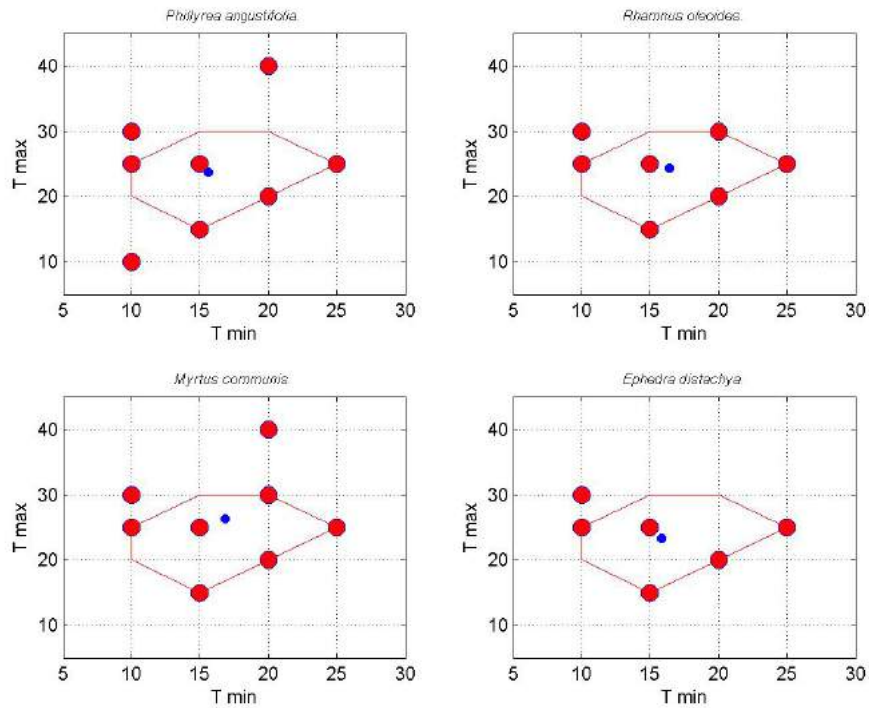


Fig. 5.19: Temperaturas en las que se obtiene un porcentaje de germinación óptimo en las especies estudiadas de la clase *Quercetea ilicis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).



Dendrograma I_2

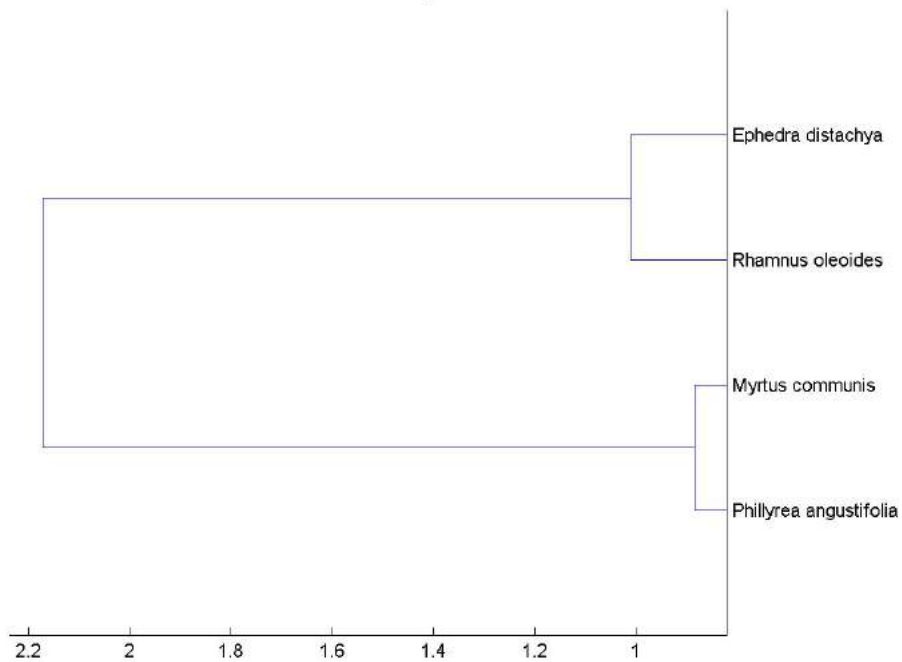


Fig. 5.20: Temperaturas en las que se obtiene una velocidad de germinación (I_2) óptima en las especies estudiadas de la clase *Quercetea ilicis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).

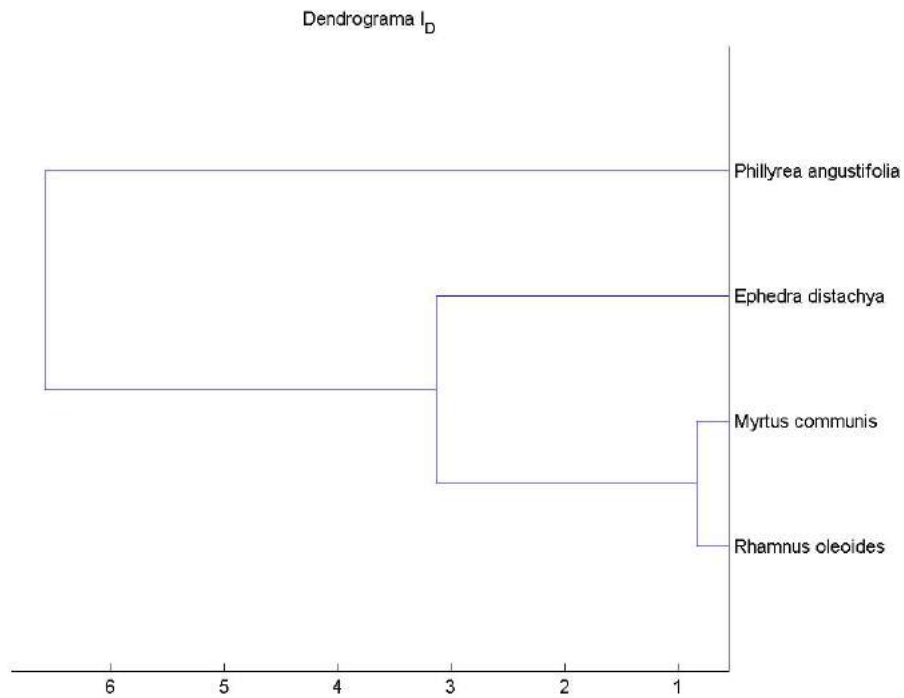
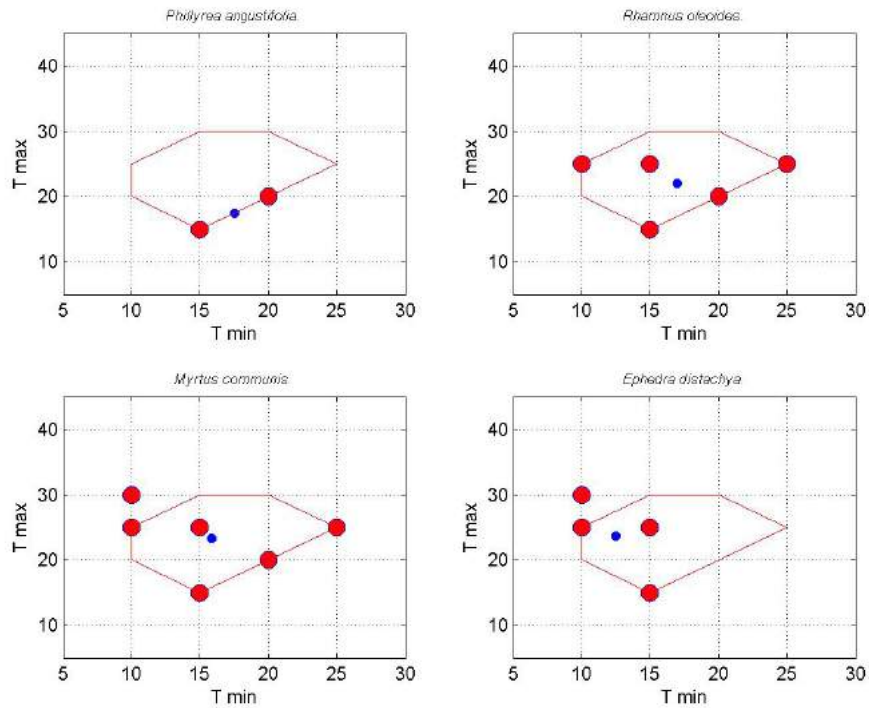


Fig. 5.21: Temperaturas en las que se obtienen valores del Índice de Optimalidad (I_D) óptimos en las especies de la clase *Quercetea ilicis*. El punto azul indica el valor medio del conjunto de condiciones experimentales óptimas de la clase (arr.). Dendrograma de proximidad de las especies estudiadas en función de este parámetro (baj.).

Al representar la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D mayores que el 75 %, 85 % y 90 % respectivamente, del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales ($I_{D,máx}$), figura 5.22, todas las especies coinciden a excepción de *E. distachya*, *R. oleoides* subsp. *angustifolia*, *M. communis* y *P. angustifolia* tienen preferencia por valores medios máximos de 20°C y mínimos de 15°C mientras que el óptimo de *E. distachya* se desplaza hacia temperaturas con mayor alternancia entre el día y la noche con valores medios que se sitúan entre los 28°C de máxima y los 12°C de mínima. En todos los casos se observa como aumentar la exigencia sobre el valor de optimalidad del índice, I_D , conduce a una reducción progresiva de la región de condiciones de germinación que satisfacen el valor mínimo de I_D demandado. No obstante, esta reducción no es demasiado pronunciada, lo que indica que, desde el punto de vista del índice I_D las cuatro especies requieren condiciones de germinación bastante restringidas a una región del espacio de temperaturas de germinación.

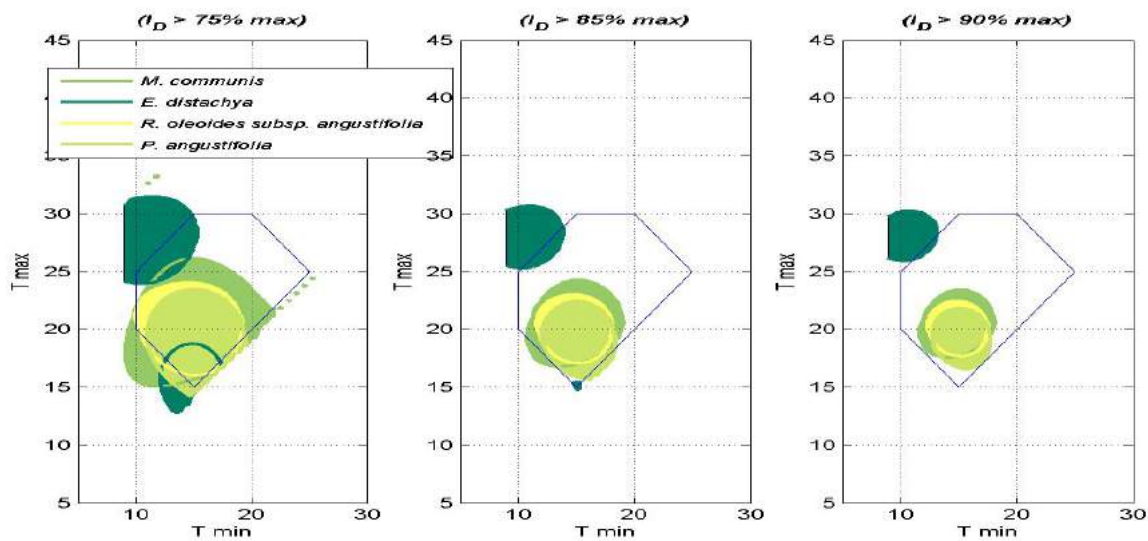


Fig. 5.22: Representación de la estimación de las regiones del espacio de condiciones experimentales para las que se obtienen valores de I_D a tres niveles, $I_D > 75\%$, $I_D > 85\%$ y al $I_D > 90\%$ del valor máximo que se obtuvo a todas las condiciones experimentales para cada una de las especies estudiadas de la clase *Quercetea ilicis*.

En este grupo el análisis de las líneas de regresión obtenidas al representar la inversa de la velocidad (I_2) frente a temperaturas de germinación constantes, figura 5.23 (izq.), indica la competitividad superior de *M. communis* frente a todas las demás especies, puesto que los valores para esta especie siempre quedan por

encima con el T_b más bajo (tabla 5.4). La menos competitiva es *P. angustifolia*, que únicamente responde más rápido a temperaturas menores, por debajo de los 12°C aproximadamente. En 5.23 (der.) se muestra que no hay una tendencia clara de las especies como ocurría en la clase *Ammophiletea*.

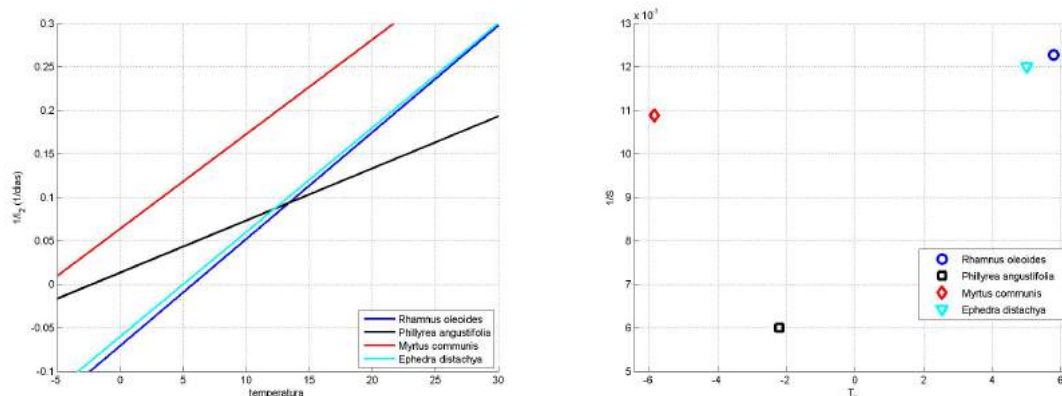


Fig. 5.23: (izq.) Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a las temperaturas utilizadas para el cálculo de T_b y S en las especies de la clase *Quercetea ilicis*. (der.) Representación de la pendiente ($1/S$) y la temperatura base (T_b) para cada recta.

El menor valor de Θ es para *E. distachya*, siendo *M. communis* la especie que más concentración de sal aguanta, ver figuras 5.24 (izq.), 5.24 (der.) y tabla 5.4.

Por otro lado, cuando representamos la inversa del tiempo de germinación frente al potencial osmótico, *M. communis* también se mantiene por encima de las demás, solo la supera *E. distachya* en las concentraciones más altas, con potenciales inferiores a -2.2 MPa. La segunda especie que muestra mayor competitividad en el rango de concentraciones salinas más habituales en el medio natural, entre 0 y -1.2 MPa (entre 0 y 300 mM), es *P. angustifolia*.

Especie	$T_b(^{\circ}\text{C})$	$S(^{\circ}\text{C} \text{ día})$	Ψ_b (Mpa día)	Θ (Mpa día)
<i>Phillyrea angustifolia</i>	-2.21	166.87	-1.30	5.54
<i>Rhamnus oleoides</i> subsp. <i>angustifolia</i>	5.79	81.47	-0.31	10.18
<i>Myrtus communis</i>	-5.84	91.92	-1.82	7.34
<i>Ephedra distachya</i>	5.01	83.33	-1.52	15.33

Tabla 5.4: Valores de T_b , S , Ψ_b y Θ para las especies de la clase *Quercetea ilicis*.

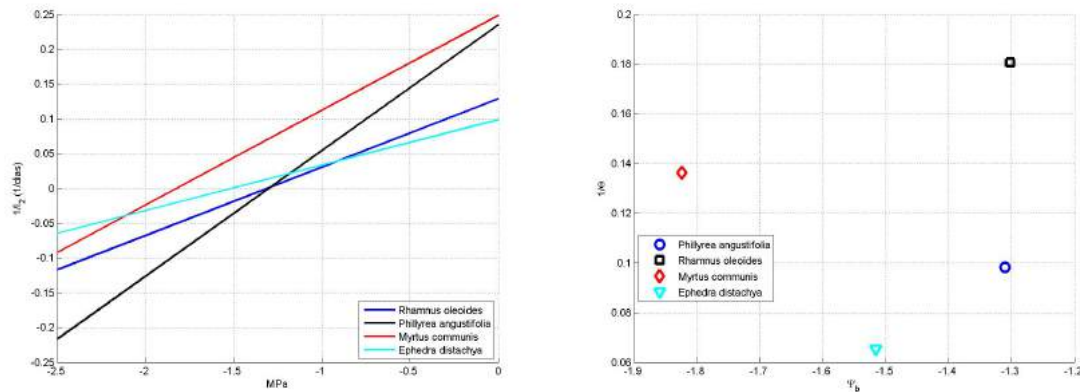


Fig. 5.24: (izq.) Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la variación de potencial osmótico del medio, utilizadas para el cálculo de Ψ_b y Θ para las especies estudiadas de la clase *Quercetea ilicis*. (der.) Representación de la pendiente ($1/\Theta$) y el potencial osmótico base (Ψ_b) para cada recta.

5.2. Resultados y análisis conjuntos

5.2.1. Análisis de temperatura y potencial osmótico base

Cuando se analizan conjuntamente las rectas de regresión obtenidas al representar la inversa de la velocidad (I_2) frente a las temperaturas constantes, figuras 5.25 y 5.26, de todas las especies estudiadas, podemos observar que, en función de la competitividad, las especies se separan en dos grupos más o menos definidos. Por un lado, *M. littorea*, *M. marina*, *L. creticus*, *C. maritima*, *E. farctus*, *M. communis* y *H. halimifolium*, como más competitivas en cuanto a la velocidad de germinación y por otro, el resto de las especies. Respecto a las pendientes podemos distinguir dos grupos, *M. littorea*, *M. marina*, *L. creticus*, y *H. halimifolium* con mayores valores, y por tanto mayor sensibilidad a los cambios de temperatura, y el resto de las especies con valores sensiblemente menores, excepto *E. farctus*, con una respuesta intermedia.

Al comparar el conjunto de las especies respecto a la tolerancia a la concentración salina (figuras 5.27 y 5.28), destacan *L. creticus* y *M. marina* por su respuesta más rápida, hasta un rango cercano a 300 mM (alrededor de 1.25 MPa). Por otra parte, se puede apreciar como la especie *M. littorea*, con una mayor pendiente, se ve muy afectada en su velocidad de germinación por el incremento de la concentración de sal en el medio mientras que el resto de especies, con rectas sin apenas pendiente, se ven menos afectadas además de resultar más competitivas en las concentraciones de sal más altas.

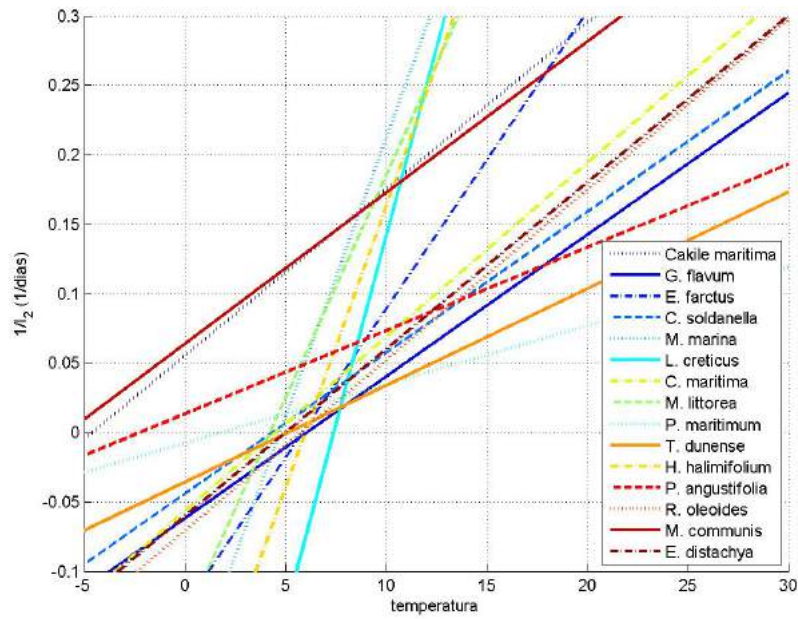


Fig. 5.25: Rectas de regresión de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la temperatura utilizadas para el cálculo de T_b y S en las especies estudiadas.

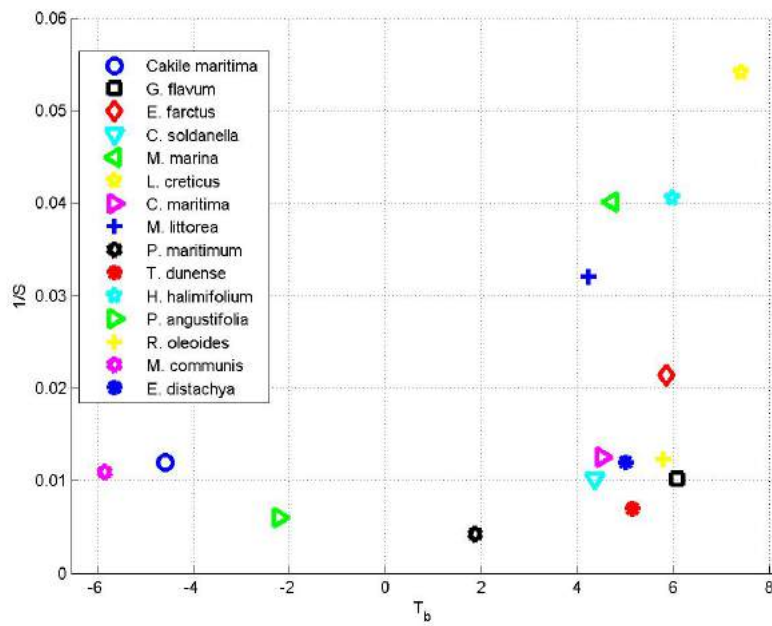


Fig. 5.26: Representación de las pendientes para el conjunto de todas las especies: T_b y S .

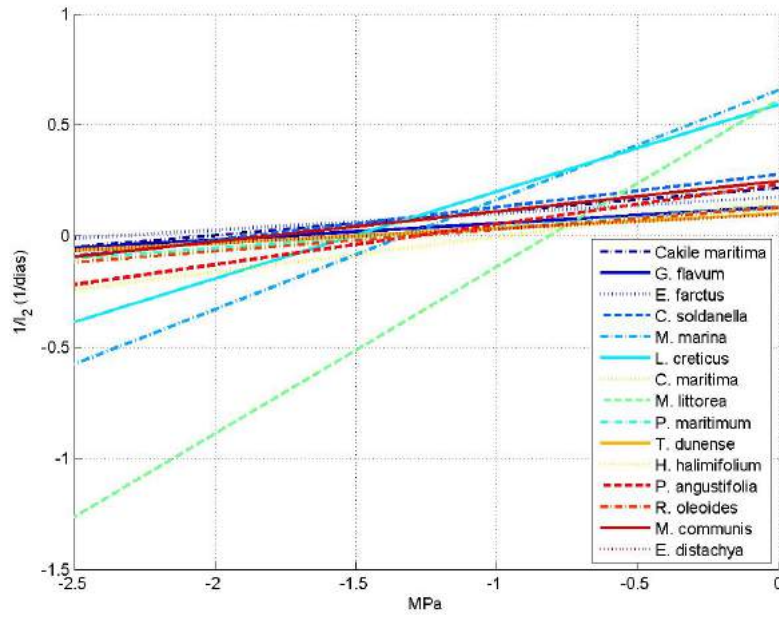


Fig. 5.27: Rectas de la inversa de la velocidad de germinación I_2 frente a la variación de potencial osmótico del medio, utilizadas para el cálculo de Ψ_b y Θ a la temperatura óptima para las especies estudiadas.

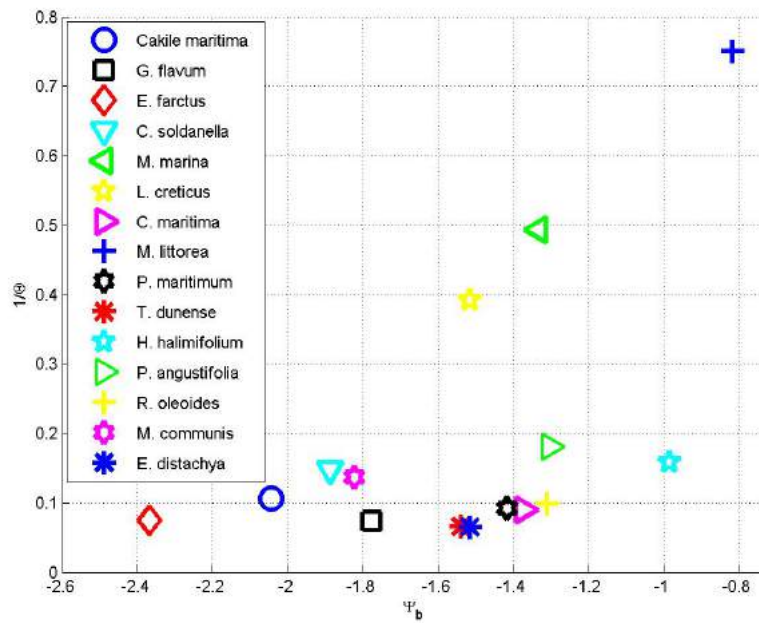


Fig. 5.28: Representación de las pendientes para el conjunto de todas las especies: Ψ_b y Θ .

Como consideración final cabe destacar que el grupo formado por *M. littorea* y *M. marina*, y *L. creticus* tiene las mayores pendientes y por tanto su respuesta germinativa (velocidad de germinación) varía más frente a los cambios, tanto de temperatura como de concentración salina en el suelo. Así mismo, resultan las más competitivas en las temperaturas consideradas como normales en la época de germinación.

5.2.2. Análisis multivariante

Se ha realizado un análisis multivariante de los resultados para observar como se distribuyen las 15 especies en función de 61 variables experimentales consideradas, ver tabla 2.8 del capítulo 2. Para ello se ha aplicado el Análisis de Componentes Principales (PCA), véase capítulo 2.8.3 y el Análisis Factorial (FA), véase capítulo 2.8.3. De esta forma, en el estudio se pretende ver hasta que punto la variabilidad de los datos experimentales obtenidos en los capítulos anteriores son un reflejo de unas variables latentes función de las especies estudiadas. Los resultados de estos análisis se muestran en las secciones que siguen.

Análisis de componentes principales (PCA) Los resultados de este análisis muestran que con el primer componente principal (PCA1) se puede explicar el 76.86 % de la variabilidad de los datos, con el segundo componente principal (PCA2) se explica un 7.91 % y con el tercero (PCA3) el 5.02 %, figura 5.29. Es decir, que los tres primeros componentes explican aproximadamente un 90 % de la variabilidad observada. Los valores de cada variable para cada uno de los componentes se muestran en las tablas desglosadas en el apéndice (tablas A.1, A.2 y A.3).

A partir de estos valores reflejados en las mencionadas tablas se puede observar que:

- En el componente 1, en el extremo negativo se encuentra un gran número de variables con valor similar. Ninguna de ellas destaca significativamente por su coeficiente en esta componente. En el extremo contrario, el positivo, se sitúa el valor de S (tiempo térmico) seguido de la velocidad de germinación en un rango bastante amplio de temperaturas suaves, entre los 15°C y los 25°C , tanto en regímenes alternos como constantes.
- En el componente 2, en el extremo negativo están los valores referidos a porcentaje de germinación e I_D a 10°C . También se pueden señalar como variables explicadas por este componente a los porcentajes de germinación a 30/20°C , 200 mM y 30/10°C . En el extremo de valores positivos hay mucha diferencia entre la variable

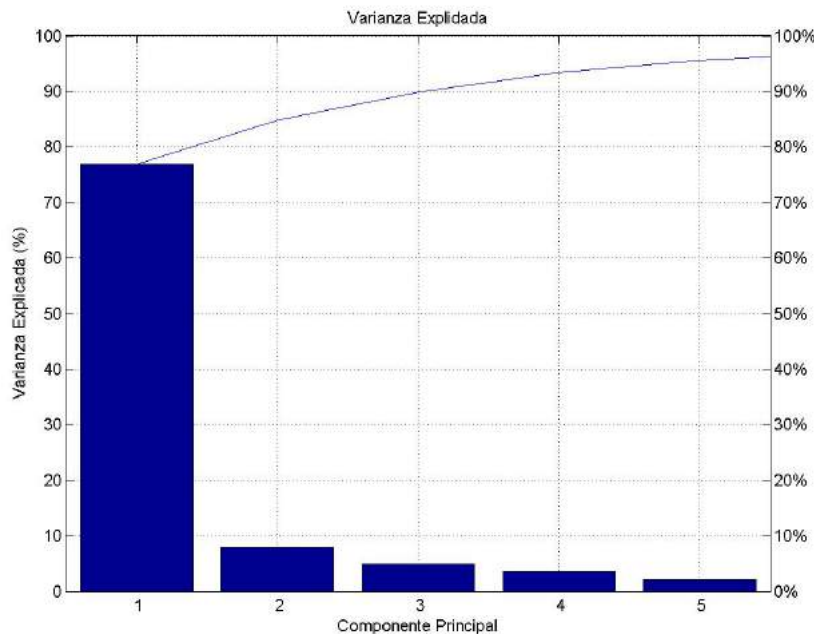


Fig. 5.29: Porcentaje de explicación de las componentes principales 1, 2 y 3.

con mayor coeficiente y el resto. En este extremo, la variable S tiene un valor cinco veces superior al del resto de variables, siendo por tanto la que contribuye de forma más significativa a separar las especies.

- En el componente 3 los valores del extremo negativo hacen referencia a la velocidad de germinación e I_D a temperaturas constantes, siendo 20 y 25°C las de mayor valor. En el extremo positivo se sitúan las variables referidas a porcentajes de germinación a 100 mM, y a 30/10°C .

La misma información se muestra de forma gráfica en los mapas de puntuaciones de las figuras 5.30, 5.31 y 5.32, en los cuales se representa la distribución de las variables dependientes (61 en total) según los valores obtenidos en los tres primeros componentes principales; el plano definido por los componentes 1 y 2 y el definido por los componentes 2 y 3 respectivamente. El definido por los componentes 1 y 3 no aporta información relevante.

En las figuras 5.33, 5.34, 5.35 y 5.36 se representan simultáneamente la distribución de las especies o cargas como variables independientes (15 en total) y puntuaciones como variables dependientes (61 en total) en función de sus valores sobre las componentes principales. En la descripción de cada gráfico se utiliza una subdivisión del área del mismo en cuatro cuadrantes o sectores que se enumeran del 1 al 4, siguiendo un orden de izquierda a derecha, y de arriba abajo.

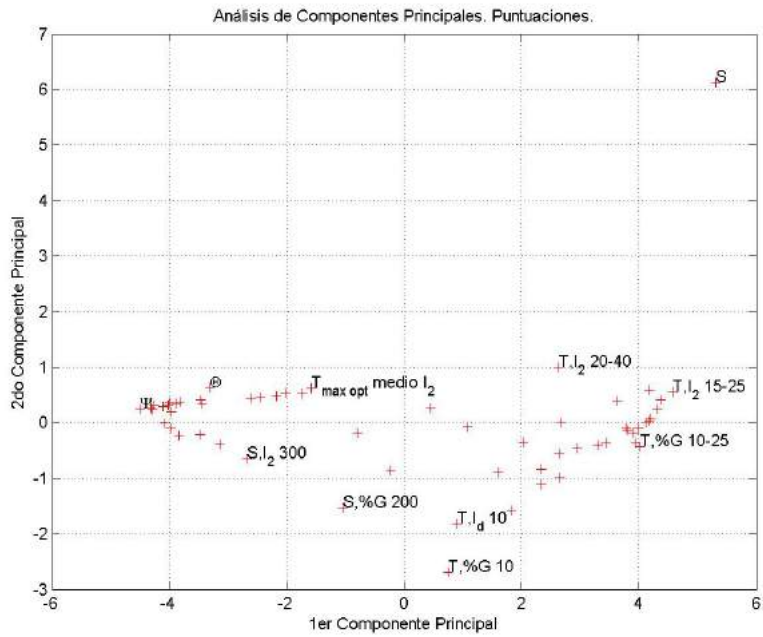


Fig. 5.30: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para PCA1 y PCA2.

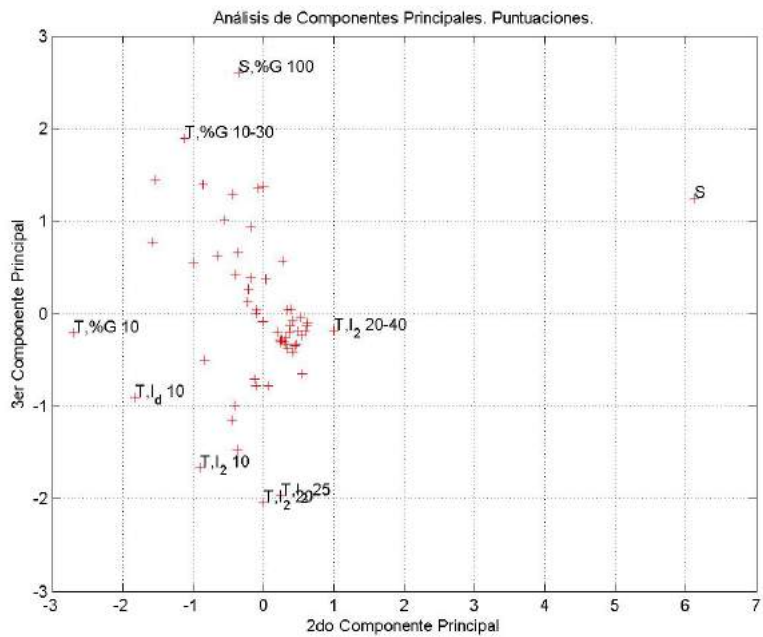


Fig. 5.31: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para PCA2 y PCA3.

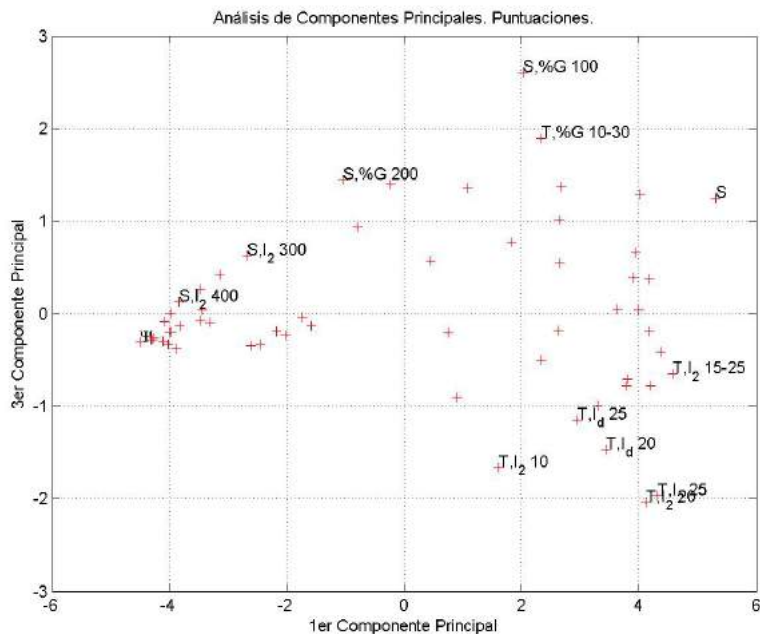


Fig. 5.32: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para PCA1 y PCA3.

- En la figura 5.33 todas las especies tienen valores positivos para el PCA1, y quedan situadas en los cuadrantes de la derecha, sin apenas separación entre ellas respecto a este eje, tal como se refleja en la tabla 5.5. Sin embargo, el eje correspondiente al PCA2 separa las especies ampliamente y las distribuye en todo su rango. Por tanto, las variables con mayor valor positivo a lo largo de este eje serán fundamentalmente causa (“explicadas”) por las especies con carga positiva en esa componente PCA2 (en la gráfica, las situadas en la parte superior), y viceversa para el caso negativo. La variable con más peso de este componente, y por tanto la responsable principal de esta distribución, es S. Las especies con mayor valor de S, que resultan ser aquellas características de dunas embrionarias y móviles, se sitúan en el cuadrante 4 (parte negativa del PCA2) del gráfico, y las especies con menor valor de S, que son aquellas características de dunas semifijas y estabilizadas se sitúan mayoritariamente en el cuadrante 2 (parte positiva del PCA2).
- En la figura 5.34 se representa la distribución de las especies respecto a los componentes 2 y 3. Esta distribución se debe, igual que en la figura comentada anteriormente, a la variable S para el PCA2, de manera que quedan las especies con valores más altos al lado izquierdo del gráfico. Para el PCA3 se debe a las variables de velocidad de germinación (I_2) a distintas temperaturas constantes, a

los porcentajes de germinación a 100 mM, y a 30/10°C . Arriba y a la derecha del gráfico se sitúan las especies con velocidad de germinación baja a temperaturas constantes, y porcentajes de germinación altos a 100 mM y a 30/10°C . En función de estos componentes nos encontramos:

- En el cuadrante 1 (superior izquierda) se sitúan *E. farctus*, *L. creticus*, *M. marina*, *C. soldanella* y *Cakile maritima*, especies con valores de I_2 a temperatura constante bajos, y porcentajes de germinación a 100 mM de ClNa y a 30/10°C altos. Se puede interpretar que en este sector se disponen especies que no muestran preferencia por las temperaturas constantes, y que toleran bien la presencia de sal en el sustrato, así como la alternancia fuerte de temperaturas entre el día y la noche. Así mismo son especies con valores de S (tiempo térmico) altos.
- En el cuadrante 2 (superior derecha) se sitúan *G. flavum*, *P. maritimum* y *T. dunense*, también con valores de I_2 a temperatura constante bajos, y porcentajes de germinación a 100mM y a 30/10°C altos, pero con valores de S menores. Este sector agrupa especies que al igual que el anteriormente descrito no muestran preferencia por temperaturas constantes, y toleran bien la presencia de sal y la alternancia de temperaturas. Sin embargo muestran valores de S bajos. Suelen ser especies menos competitivas que las del grupo anterior.
- En el cuadrante 3 (inferior izquierda) encontramos a *M. littorea* y *H. halimifolium*; ambas especies destacan por mostrar porcentajes de germinación a 100 mM muy bajos, lo cual indica que son especies con muy poca tolerancia a la sal. *H. halimifolium* muestra además cierta preferencia por regímenes de temperatura constante. Ambas especies tienen valores de S elevados.
- En el cuadrante 4 (inferior derecha) se sitúan *P. angustifolia*, *R. oleoides*, *E. distachya*, *M. communis* y *Crucianella maritima*. Todas estas especies muestran valores de I_2 más altos a temperatura constante, y porcentajes de germinación a 100 mM y 30/10°C bajos. Esto nos indica que son especies con preferencia por las temperaturas constantes, y que no toleran la sal. Todas ellas además tienen valores de S bajos.

Generalizando, las especies características de las dunas estabilizadas presentan valores positivos de PCA2 y negativos de PCA3 (cuadrante 4), mientras que las especies que se sitúan a menor distancia del mar tienen valores negativos para PCA2 y positivos para PCA3 (cuadrante 1).

- En la figura 5.35 se representan las especies en función de los componentes 1 y 3. El primer componente principal (PCA1), como se ha dicho, apenas separa las especies. El PCA3 las separa en función de las variables ya mencionadas anteriormente, de manera que en el cuadrante 2 (parte positiva del PCA3) se sitúan las especies que no muestran preferencia por las temperaturas constantes o que incluso requieren una fuerte alternancia día/noche, como es el caso de *G. flavum*. Además estas especies también toleran la presencia de sal en el sustrato. En el cuadrante 4 (parte negativa del PCA3) quedan las especies con preferencia por temperaturas constantes y escasa tolerancia a la presencia de sal en el sustrato y/o la alternancia de temperatura.
- En la figura 5.36 se representan las especies en función de los tres componentes principales. El resultado es obviamente el mismo el descrito en los casos anteriores, que no son más que proyecciones de éste sobre los tres planos que definen los componentes principales.

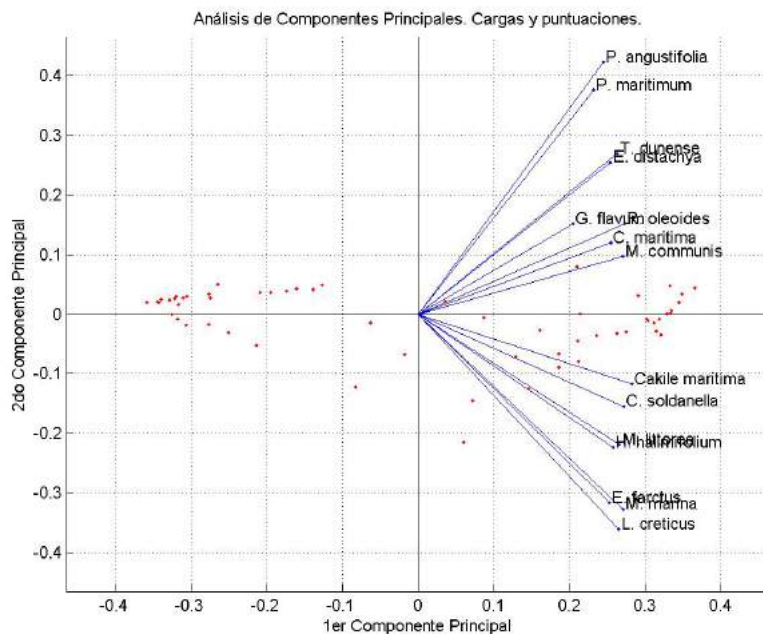


Fig. 5.33: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para PCA1 y PCA2.

Como ya se ha mencionado antes, en la tabla 5.5 se muestran los valores con que cada una de las especies estudiadas contribuye a cada uno de los tres componentes principales. Visto desde el punto de vista contrario, las especies se pueden agrupar

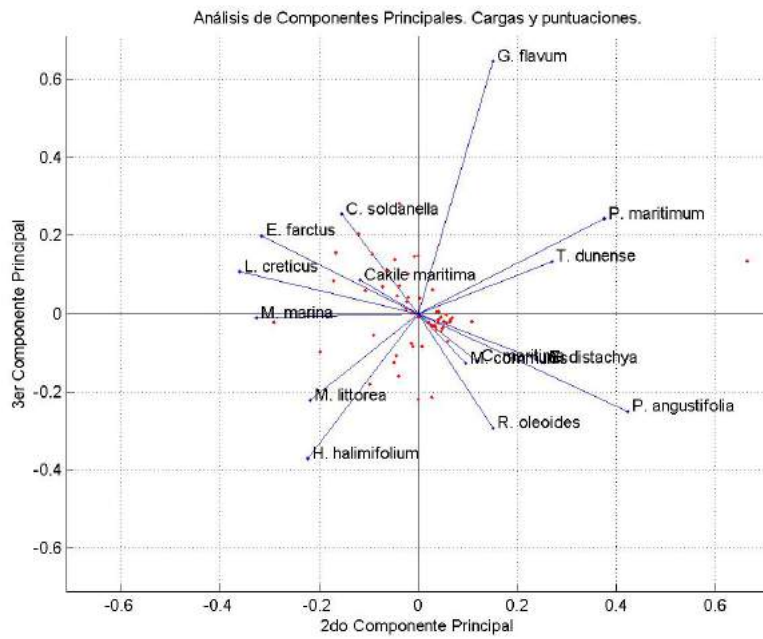


Fig. 5.34: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para PCA2 y PCA3.

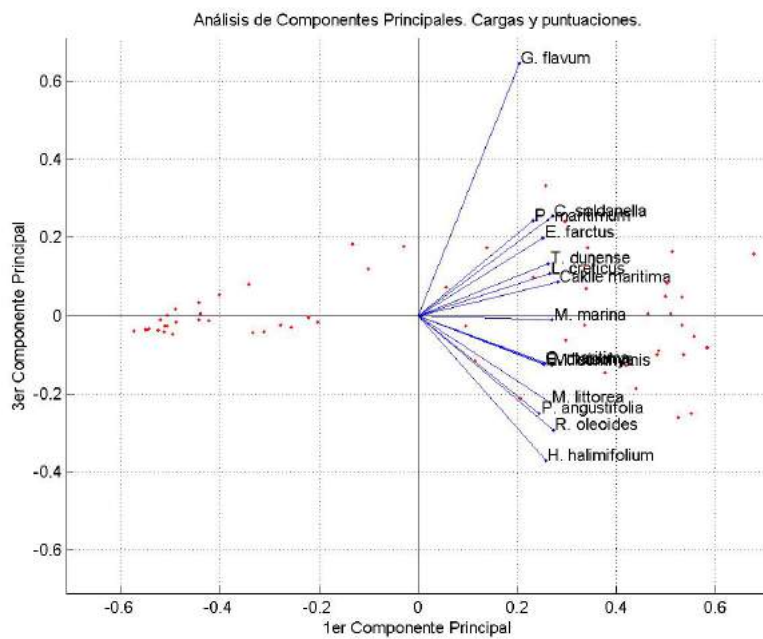


Fig. 5.35: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para PCA1 y PCA3.

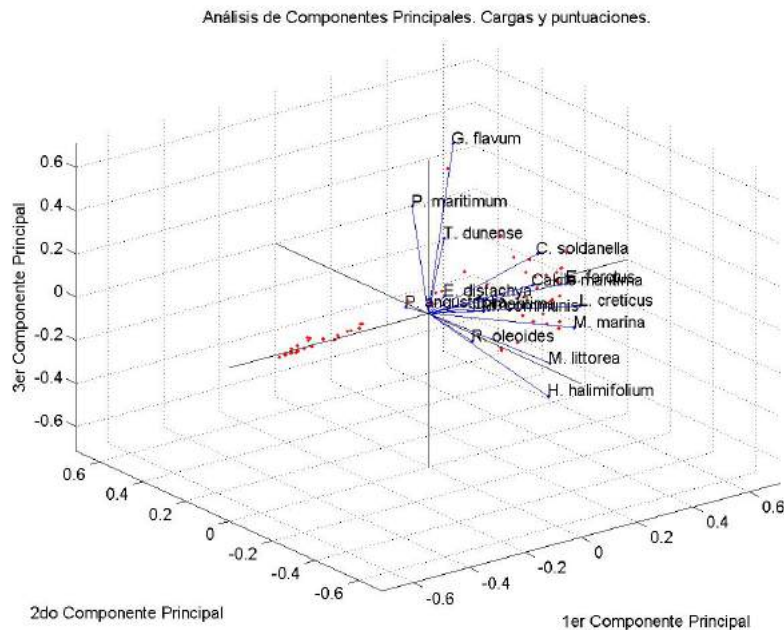


Fig. 5.36: Representación del mapa de variables y especies para PCA1, PCA2 y PCA2.

en función de la combinación de los datos obtenidos para los tres componentes principales, apareciendo juntas aquellas especies con resultados muy similares. El signo positivo o negativo de las datos distribuye las especies en los distintos cuadrantes de los gráficos descritos anteriormente. A su vez, la distribución de las especies en los tres componentes se puede explicar mayoritariamente en función de los valores de las variables con más peso en cada componente.

En la tabla 5.5, para facilitar la interpretación ecológica de estos grupos en relación con la distribución de las especies en su habitat natural, se incluye la numeración correspondiente a la comunidad vegetal a la que pertenece cada especie, y que esta representada en la catena que se muestra en el capítulo 2 (figura 2.2.1). Destaca el componente 1, que tiene valores positivos para todas las variables. Este componente no establece distinción entre las especies estudiadas. Es decir, explica una gran parte de la variabilidad que se observa en los datos experimentales de las 61 variables consideradas, pero esa variabilidad es debida a la media ponderada positivamente de todas las especies. Por el contrario, y como ya se ha visto en las gráficas anteriores, los componentes segundo y tercero presentan especies con cargas positivas y negativas. Es decir, nos sirven para separar las especies. Visto desde el punto de vista de la variabilidad de los datos experimentales, estos componentes explican un porcentaje de variabilidad significativamente más pequeño que el primero. Sin, em-

Disp. en la catena	Especie	PCA1	PCA2	PCA3
1	<i>Cakile maritima</i>	0.2828	-0.1171	0.0866
1	<i>Glaucium flavum</i>	0.2315	0.1518	0.6463
2	<i>Elymus farctus</i>	0.2527	-0.3163	0.1994
2	<i>Calystegia soldanella</i>	0.2717	-0.1548	0.2542
3	<i>Medicago marina</i>	0.2708	-0.3271	0.0105
3	<i>Lotus creticus</i>	0.2650	-0.3610	0.1079
3	<i>Pancratium maritimum</i>	0.2315	0.3760	0.2423
4	<i>Crucianella maritima</i>	0.2549	0.1195	-0.1221
4	<i>Malcolmia littorea</i>	0.2662	-0.2185	-0.2223
5	<i>Halimium halimifolium</i>	0.2577	-0.2234	-0.3712
5	<i>Teucrium dunense</i>	0.2630	0.2696	0.1336
7	<i>Phillyrea angustifolia</i>	0.2448	0.4230	-0.2500
7	<i>Rhamnus oleoides</i> subsp. <i>angustifolia</i>	0.2728	0.1509	-0.2926
7	<i>Myrtus communis</i>	0.2704	0.096	-0.1270
7	<i>Ephedra distachya</i>	0.2541	0.2548	-0.1253

Tabla 5.5: Resultados de los componentes principales PCA1, PCA2 y PCA3 en función de las especies.

bargo, es precisamente ese pequeño porcentaje el que permite encontrar el orden subyacente en las especies que han generado los datos experimentales.

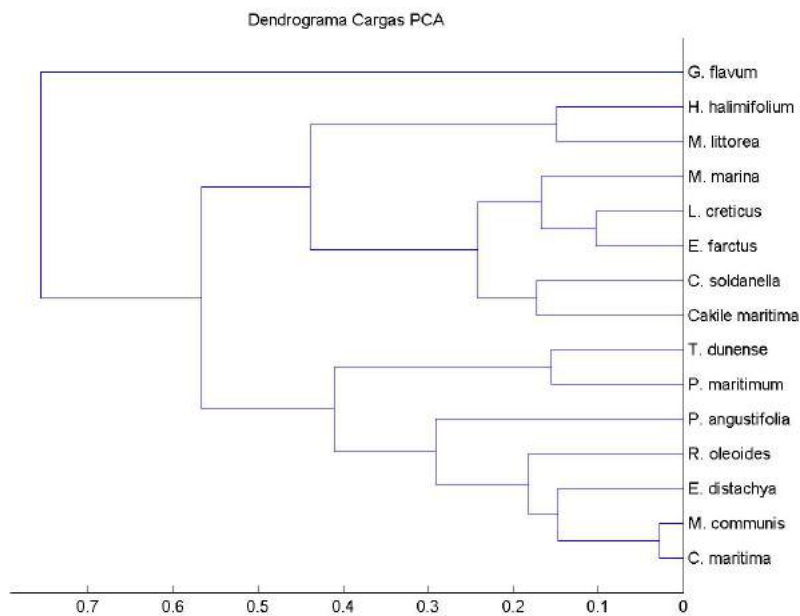


Fig. 5.37: Dendrograma obtenido a partir de los resultados de los tres primeros componentes principales.

Finalmente, la figura 5.37, se representan los resultados del PCA para las distintas especies en un dendrograma que facilita la visualización de los grupos de las especies que han resultado del Análisis de Componentes Principales, y que ya han sido descritos en las representaciones anteriores. Destaca la separación de *G. flavum* respecto a las demás especies, que no quedaba tan patente en las figuras anteriores. Es significativo observar también como el segundo componente principal y este dendrograma reflejan con bastante aproximación la distribución de especies en clases y la distancia a la línea de costa.

Análisis factorial (FA) Como ya se indicó en el capítulo 2, el análisis factorial es muy semejante al análisis de componentes principales, pero en lugar de buscar direcciones (factores) que expliquen la mayor variabilidad posible observada en los datos, busca direcciones que expliquen la máxima distribución común de los datos experimentales. En ese sentido, da una visión complementaria a la del análisis de componentes principales.

Los valores de la matriz muestran las variables consideradas para los tres primeros factores del análisis, según se recoge en el apéndice (tablas A.4, A.5 y A.6). Puede observarse que:

- En el FA1 la variable con valor negativo de más peso es Ψ_b y con valor positivo es S.
- En el FA2 a variable de más peso con valor negativo es también Ψ_b , y con valor positivo es el porcentaje de germinación a 100mM.
- En el FA3 las variables con más peso en la zona negativa son la velocidad de germinación a 200 mM y S. En el extremo opuesto es el porcentaje de germinación a 10°C .

La distribución de las variables se representa gráficamente; el plano definido por los factores 1 y 2 (figura 5.38), el definido por los factores 2 y 3 (figura 5.39), y el definido por los factores 1 y 3 (figura 5.40).

Estos valores para las especies se representan gráficamente en las figuras 5.41, 5.42, 5.43 en las proyecciones correspondientes al FA1-FA2, FA2-FA3, y FA1-FA3 respectivamente. En la figura 5.44 se representa la distribución de las especies estudiadas en el espacio definido por los tres factores considerados. Para describir las figuras se utiliza la misma terminología que en el PCA, de manera que el gráfico queda subdividido en cuatro cuadrantes o sectores, numerados del 1 al 4 siguiendo un orden de izquierda a derecha y de arriba abajo. A continuación se destaca la

participación en la distribución de las especies de las variables con más peso para los tres factores:

- En la figura 5.41 la mayoría de las especies se agrupa en el cuadrante 2 que da valores positivos para FA1 y FA2. Simplificando, esta distribución se debe, en parte, a que para el primer factor las especies con S y T_b más bajos quedan a la derecha. Para el factor 2, son T_b y el porcentaje de germinación a 100 mM las variables que mayoritariamente separan las especies. Sin embargo ambas tienen un comportamiento contrario, de manera que las especies con menor valor de T_b quedan en la parte superior derecha, valores que van incrementándose al desplazarse las especies hacia el sector 3 (inferior izquierdo). Por el contrario las especies que muestran mayores porcentajes de germinación a 100 mM quedan en el sector 1 (superior izquierdo), y aquellas con menores valores se sitúan en el 4 (inferior derecho).
- En la figura 5.42 se ve que la mayoría de las especies se agrupa en el cuadrante 2, con valores positivos para FA2 y FA3. Esta distribución se debe a la variación de los valores de las variables con mayor peso para estos factores. En el FA2, como ya se ha descrito, son T_b y el porcentaje de germinación a 100 mM las variables que mayoritariamente separan las especies. En esta gráfica quedan en el cuadrante 1 (superior izquierda) las especies con T_b más alto, y en el cuadrante 4 (inferior derecha) las que presentan valores más bajos para esta variable. Respecto a la variación del porcentaje de germinación a 100 mM, se sitúan en el cuadrante 2 (superior derecha) las especies con valores más altos, que van disminuyendo según se desplazan hacia el cuadrante 3 (inferior izquierdo). En el FA3, como ya se ha indicado, se separan las especies en función de la velocidad de germinación a 200 mM y el porcentaje de germinación a 10°C. Estas variables muestran también un comportamiento contrario: las especies que muestran valores de velocidad más altos aparecen en el cuadrante 4 (inferior derecho). Estos valores van disminuyendo según las especies se desplazan hacia el cuadrante 1 (superior izquierdo). Por el contrario, las especies con valores de porcentaje de germinación a 10°C más altos aparecen en el cuadrante 2 (superior derecha). Estos valores disminuyen al desplazarse las especies hacia el cuadrante 3 (inferior izquierda).
- En la figura 5.43 se ve que la mayoría de las especies se agrupa en el cuadrante 2, con valores positivos para FA1 y FA3. Esta distribución se debe a que para el primer factor, al igual que se observa en la figura 5.41, las especies con S y T_b más bajos quedan a la derecha. En el factor tres, al igual que en la figura 5.42,

se separan las especies en función de la velocidad de germinación a 200 mM y el porcentaje de germinación a 10°C. Estas variables muestran un comportamiento contrario: las especies que muestran valores de velocidad más altos aparecen en el cuadrante 4 (inferior derecho). Estos valores van disminuyendo según las especies se desplazan hacia el cuadrante 1 (superior izquierdo). Por el contrario, las especies con valores de porcentajes de germinación a 10°C más altos aparecen el cuadrante 2 (superior derecha). Estos valores disminuyen al desplazarse las especies hacia el cuadrante 3 (inferior izquierda).

- En la figura 5.44 se representan los valores obtenidos para las variables y las especies de FA1, FA2 y FA3.

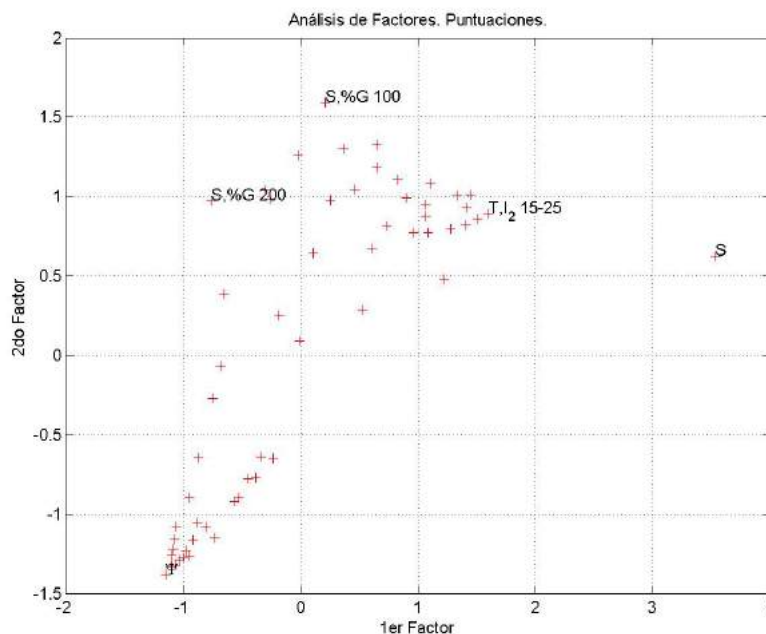


Fig. 5.38: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para FA1 y FA2.

En la tabla 5.6 se muestran los valores resultantes para las especies. Se pueden distinguir grupos de especies por proximidad. Para facilitar la interpretación ecológica de estos grupos en relación con la distribución de las especies en su hábitat natural, se incluye en la tabla la numeración correspondiente a la comunidad vegetal a la que pertenece cada especie (ver 2.2.1). El signo positivo o negativo de las cargas distribuye las especies en los distintos cuadrantes de los gráficos.

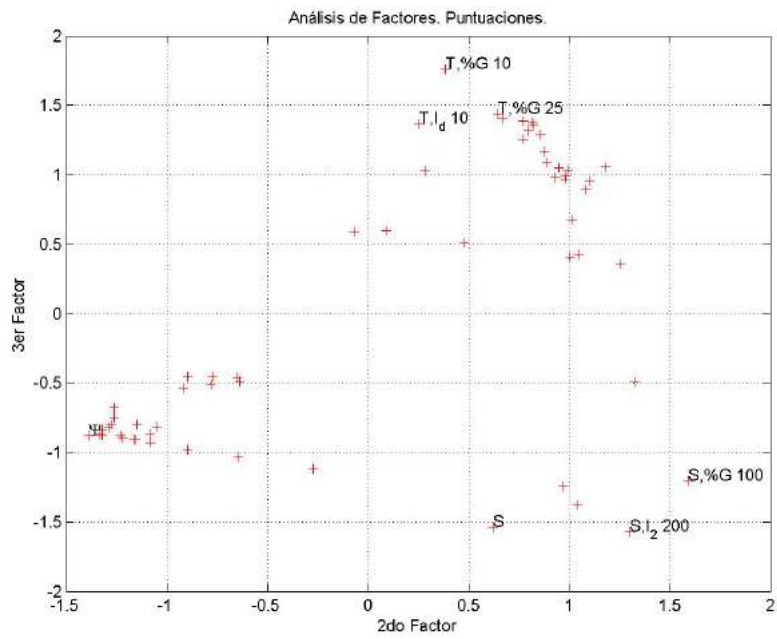


Fig. 5.39: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para FA2 y FA3.

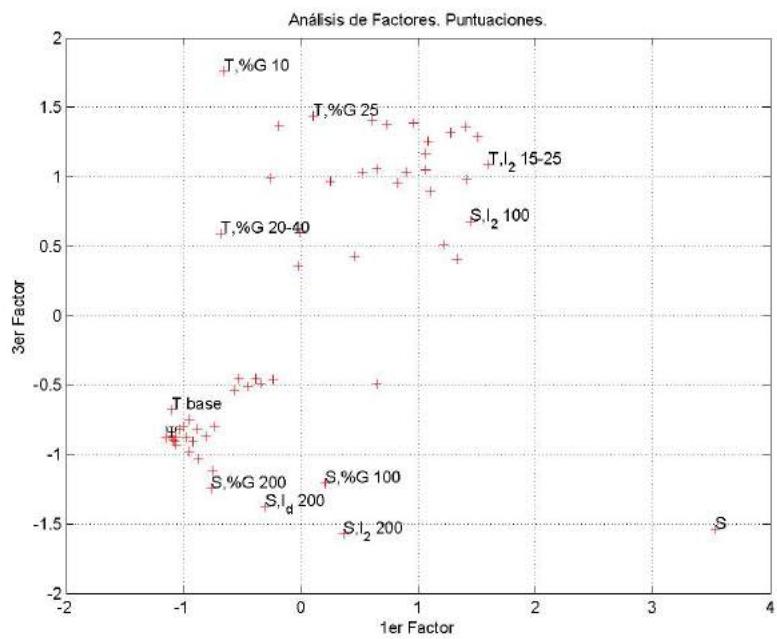


Fig. 5.40: Representación del mapa de puntuaciones o variables dependientes para FA1 y FA3.

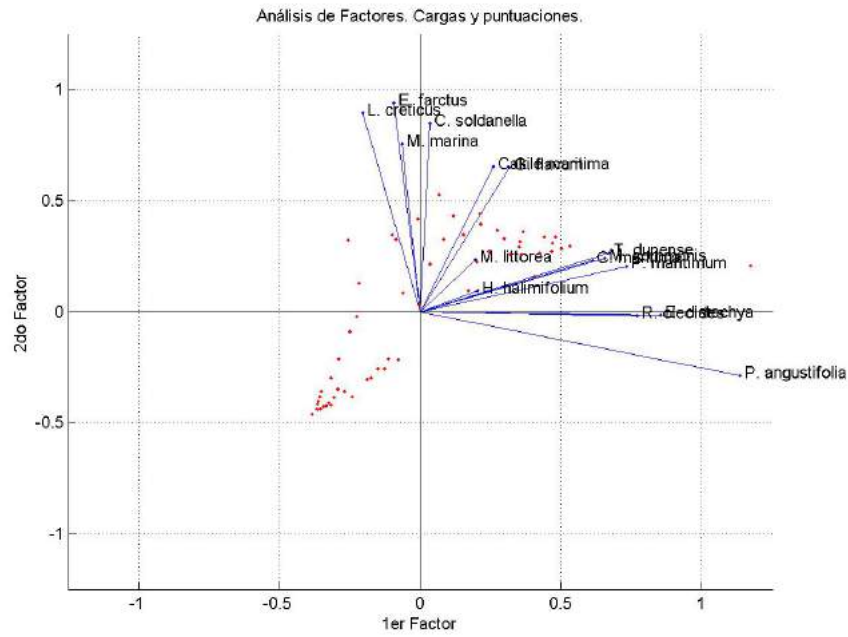


Fig. 5.41: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para FA1 y FA2.

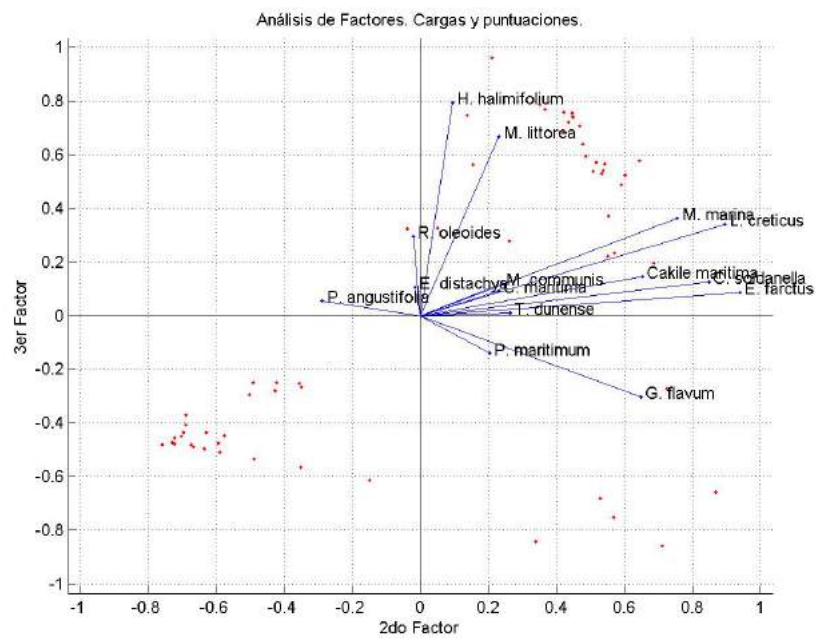


Fig. 5.42: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para FA2 y FA3.

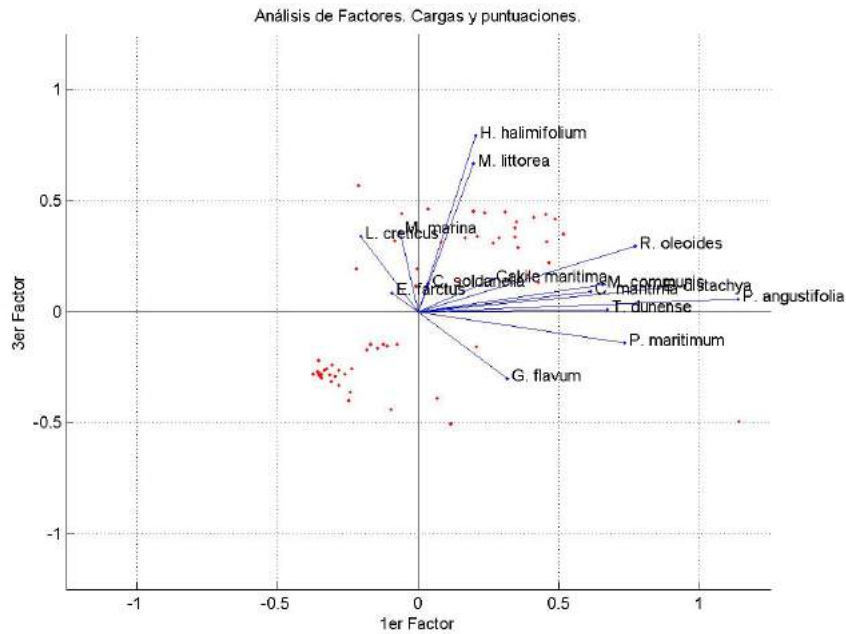


Fig. 5.43: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para FA1 y FA3.

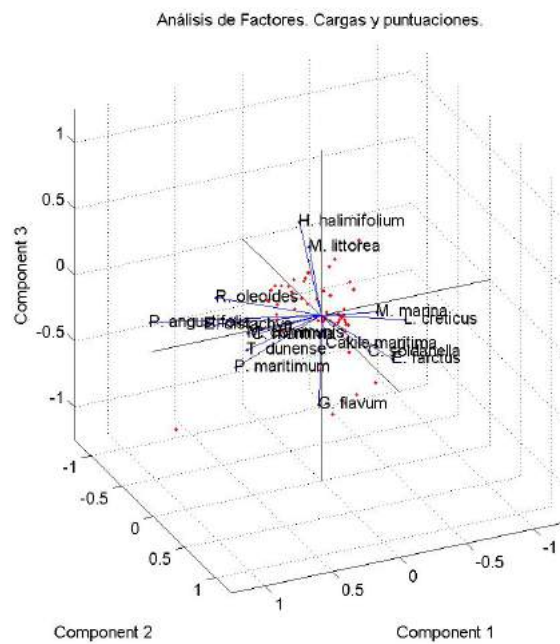


Fig. 5.44: Representación del mapa de cargas (especies) y puntuaciones (variables independientes) para FA1, FA2 y FA3.

Disp. en la catena	Especie	FA1	FA2	FA3
1	<i>Cakile maritima</i>	0.2606	0.6526	0.1444
1	<i>Glaucium flavum</i>	0.3180	0.6490	-0.3029
2	<i>Elymus farctus</i>	-0.0953	0.9408	0.0852
2	<i>Calystegia soldanella</i>	0.0352	0.8494	0.0852
3	<i>Medicago marina</i>	-0.0646	0.7566	0.3626
3	<i>Lotus creticus</i>	-0.2040	0.8970	0.3399
3	<i>Pancratium maritimum</i>	0.7334	0.2047	-0.1409
4	<i>Crucianella maritima</i>	0.6133	0.2306	0.0916
4	<i>Malcolmia littorea</i>	0.1959	0.2323	0.6677
5	<i>Halimium halimifolium</i>	0.2048	0.0948	0.7948
5	<i>Teucrium dunense</i>	0.6728	0.2636	0.0089
7	<i>Phillyrea angustifolia</i>	1.1386	-0.2885	0.0564
7	<i>Rhamnus oleoides</i> subsp. <i>angustifolia</i>	0.7716	-0.0197	0.937
7	<i>Myrtus communis</i>	0.6560	0.2399	0.1196
7	<i>Ephedra distachya</i>	0.8560	-0.0155	0.1053

Tabla 5.6: Resultados de los FA1, FA2 y FA3 referido a todas las variables juntas.

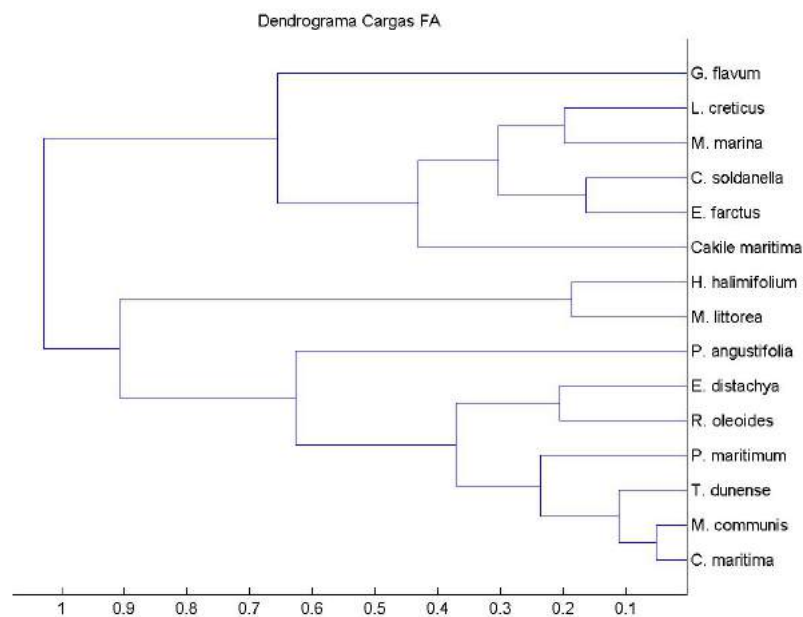


Fig. 5.45: Dendrograma obtenido a partir de los resultados del análisis de factores.

En la figura 5.45 se representan las cargas de las especies que se muestran en la tabla 5.6 para los tres primeros factores obtenidos en este análisis en forma de dendrograma para facilitar la visualización de la distribución descrita y de los grupos de especies con un comportamiento germinativo similar. Se puede distinguir:

- Un gran grupo formado por *G. flavum* en solitario y otro con las especies cercanas al mar como son *E. farctus*, *C. soldanella*, *M. marina*, *L. creticus* y *Cakile maritima*.
- Un segundo grupo formado por las especies que en principio se sitúan más lejos del mar como son *M. littorea* y *H. halimifolium* por un lado y, *P. maritimum*, *T. dunense*, *R. oleoides subsp. angustifolia*, *E. distachya*, *M. communis* y *P. oleoides subsp. angustifolia* junto con *C. maritima* por otro.

6 Discusión

Las especies en los ecosistemas dunares se disponen siguiendo una zonación típica en bandas paralelas al mar que se reproduce en todo el mundo. Numerosos trabajos han intentado explicar esta disposición de las especies que configuran las comunidades vegetales dunares. En estos trabajos se estudian algunos de los principales factores que se han considerado posibles agentes causales de dicha disposición. Entre ellos, la microtopografía del terreno, la maresía, la salinidad en el sustrato, el enterramiento y la abrasión por la arena (Alcaraz & Garre, 1985; Maun & Perumal, 1999; Wartena, 1991; Yura & Ogura, 2006), también el pH del suelo (Molina *et al.*, 2003) o la disponibilidad de nutrientes (Kachi & Hiroshi, 1983). Aparte de los factores ambientales específicos mencionados es necesario considerar la importancia de la función biológica, de valor adaptativo, para alcanzar un conocimiento efectivo del comportamiento y distribución de las especies. Algunos autores, (Ievinsh, 2006), concluyen que el conocimiento de la biología de las especies en un sentido amplio, que permita abordar medidas prácticas para su conservación, está lejos de ser completamente alcanzado.

De acuerdo con este planteamiento, este estudio ha pretendido avanzar en esta línea. Para ello se ha considerado que una planta necesita primero germinar y establecerse, después crecer y por último florecer y fructificar para considerarse adaptada a un hábitat determinado. Con esta consideración se intuye que el conjunto de factores que influyen en la distribución de una especie puede ser muy complejo, y además incluirá no solo factores ambientales, sino también de facilitación y/o competitividad entre las distintas especies que por sus características pueden vivir en el mismo hábitat; sin olvidar el factor biótico (Franks, 2003).

De los primeros factores que se deben considerar son los que afectan a la fase germinativa, dado que es la primera que debe superar una planta cuando intenta instalarse en un medio concreto. Con una amplia perspectiva, esto se plantea en trabajos de revisión (Donohue *et al.*, 2010) considerando que al ser la germinación el primer carácter fenotípico que expresa una planta, la selección natural actuará sobre él en primer lugar. Con este estudio se ha intentado determinar las características

adaptativas de la fase de germinación en especies características de las distintas comunidades dunares y su correlación con la zonación natural que se observa en este tipo de vegetación. Así, se ha partido del planteamiento de que cada una de las comunidades dunares estará, pues, adaptada a germinar en un microambiente diferente.

Uno de los parámetros germinativos analizados es la presencia de dormición en las semillas. Los resultados muestran que la proporción de especies con dormición física, que requieren el escarificado de sus semillas para germinar, es mayor la duna móvil. Estas especies desarrollan normalmente un banco de semillas persistente (Honda, 2008), que les aporta una ventaja ecológica en este tipo de ecosistemas. Esto es coherente con los estudios que demuestran que algunos tipos de dormición constituyen una estrategia (bet-hedging) que proporciona una situación ventajosa en los ambientes más impredecibles (Venable & Brown., 1988) .

Otro factor que ha sido muy estudiado es la influencia de la iluminación relacionado con el factor enterramiento en este tipo de sustrato inestable, como es la arena (Redondo-Gómez *et al.*, 2011; Thanos *et al.*, 1991). Estos trabajos sobre *Cakile maritima*, *Elymus farctus* y *Glaucium flavum* muestran que la germinación está inversamente correlacionada con la exposición directa a la luz. En este trabajo no se ha incluido este factor como variable dado que se ha considerado la oscuridad como condición óptima. Esta consideración se basa en las conclusiones de los trabajos anteriormente citados que indican que la germinación es normalmente más efectiva en condiciones de oscuridad en especies psamófilas, y en las propias mediciones sobre el terreno que nos indican que ya a los 5 mm por debajo de la superficie la densidad del flujo lumínico es cero.

Actualmente se utiliza el índice de Timson (Timson, 1965), descrito para semillas recuperadas y germinadas en condiciones salinas. Un gran número de autores utilizan la modificación del índice de Timson (Khan & Ungar, 1984, 1997; Katembe *et al.*, 1998; Pujol *et al.*, 2000; Khan *et al.*, 2000; Gulzar & Khan, 2001; Sharma & Anderson, 2003; Zia & Khan, 2004). Esta modificación del índice de Timson es la más utilizado debido a su sencillez de cálculo, pero requiere conteos en días alternos hasta la finalización del experimento. También se usa el T_{50} , es decir, el tiempo que se tarda en alcanzar el 50 % del porcentaje máximo de las semillas germinadas (Tobe

et al., 2000). El T_{50} en muchos casos no expresa las diferencias reales relativas a la eficacia del test. El tiempo medio de germinación, MGT, es poco utilizado (Alsadon *et al.*, 1995). Otros autores (Noe & Zedler, 2000; Debez *et al.*, 2004) describen índices propios que explican la velocidad de germinación.

Se ha definido para la determinación de la velocidad de germinación se ha definido en la tesis un nuevo índice de velocidad de germinación (I_2). Este índice resuelve las limitaciones de los índices descritos en la literatura (ver capítulo 2). Se trata de un índice normalizado con valores entre 0 y 100, indicando el peor y mejor caso teóricos respectivamente. Esta normalización permite comparar velocidades de germinación para distintas especies, independientemente de su porcentaje de germinación y de la duración del experimento. Por otro lado no se necesita muestreo equiperiódico y, finalmente, el índice discrimina correctamente entre respuestas germinativas con el mismo tiempo medio pero distinta pendiente de la respuesta.

Para valorar la eficacia de las condiciones utilizadas en las diferentes pruebas de germinación ha sido muy útil la aplicación del nuevo Índice de Optimalidad (I_D), que ha permitido concretar en qué rango de temperaturas y concentración de sal, el porcentaje y la velocidad de germinación han sido óptimos. Este índice proporciona una valoración conjunta de porcentaje y velocidad de germinación con una escala que va de 0 a 100, correspondiendo el 100 al caso teórico ideal de respuesta germinativa instantánea (máxima velocidad teórica de germinación) y porcentaje de germinación del 100%. Este índice resulta sencillo de interpretar frente a otros índices utilizados hasta el momento (Khan & Ungar, 1984; Thanos & Georghiou, 1988; Alsadon *et al.*, 1995; Noe & Zedler, 2000).

El efecto de la temperatura es uno de los factores mayoritariamente estudiados para caracterizar la germinación de las especies vegetales (Rejili *et al.*, 2009; Jamila *et al.*, 2010; Redondo-Gómez *et al.*, 2011). En los resultados obtenidos se observa una mejor respuesta a temperaturas alternas en las plantas de comunidades más próximas al mar. Por contra las especies de las dunas móviles presentan respuestas óptimas en un rango muy amplio de temperaturas, tanto constantes como alternas. En el caso de las especies que se sitúan en las comunidades más alejadas del mar, se obtienen mejores resultados a temperaturas constantes. Esto puede estar ocasionado porque estas comunidades tienen una mayor cobertura; esto esta de acuerdo con di-

versos trabajos, (Thompson *et al.*, 1977; Thompson & Grime, 1983; Benech-Arnold *et al.*, 1988), en los que se ha constatado que en formaciones de vegetación densa, las especies con un requerimiento germinativo de alternancia de temperaturas no encuentran las condiciones adecuadas de germinación.

Además del porcentaje de germinación y la velocidad se han calculado otros parámetros, temperatura base (T_b) y el tiempo térmico (S). El tiempo térmico (S) analiza el comportamiento germinativo de una especie para poder determinar su competitividad frente a las otras especies con las que convive en su hábitat natural. Permite comparar su capacidad de respuesta germinativa, velocidad frente a temperatura. Hay estudios (Trudgill *et al.*, 2005) que apoyan el uso del tiempo térmico, S (expresado en °C día) para analizar y comparar los requerimientos térmicos para la germinación de las especies vegetales silvestres. Revisiones realizadas (Trudgill, 1995) sobre este concepto asume que las características térmicas de las especies se han seleccionado porque son las que le confieren la idoneidad fisiológica en relación con el ambiente térmico al que están adaptadas, y sugiere que el modelo lineal de tiempo térmico es conceptual y prácticamente útil. Los resultados del trabajo realizado así lo confirman para las especies estudiadas de duna.

El requerimiento de tiempo térmico observado en las distintas especies nos proporciona un modelo de predicción para el proceso de germinación de cada una de ellas. Aquellas especies con valores de S grandes (pendientes en las rectas de regresión pequeñas) son con frecuencia especies más lentas, y por tanto resultan poco competitivas. Las especies consideradas más competitivas, tienen valores de S pequeños (pendientes grandes), generalmente germinan con rapidez en un rango de condiciones de temperatura amplio. En este estudio coincide con aquellas especies consideradas también colonizadoras, entendiendo el carácter colonizador como la capacidad para establecer una nueva población (Cadotte *et al.*, 2006). En otros trabajos (Maun, 2009) se señala el carácter colonizador de algunas de las especies características de las primeras bandas litorales de vegetación. En este sentido destaca el comportamiento de las especies del género *Cakile*, y también *Calystegia soldanella* y *Ammophila arenaria* entre otras especies que aparecen en trabajos más antiguos de diversos autores. En estos trabajos se indica la adaptación de estas especies fundamentalmente en la dispersión de sus propágulos, que muchas veces desarrollan morfologías que les permiten la flotación, de manera que pueden ser arrastrados por las corrientes marinas a largas distancias. Este carácter colonizador de las especies

que viven en la primera línea se ha confirmado también en su estrategia germinativa. Tanto por el amplio rango de condiciones en las que germinan de manera óptima, como por los valores de tiempo termal que han mostrado se puede afirmar que las especies de primera línea son las más competitivas. Los trabajos que discuten la sucesión de especies en el tiempo en ambientes dunares también destacan la importancia de las mismas como las primeras colonizadoras después de cualquier evento de alteración, bien sea natural o causado por el hombre. Estas especies colonizadoras tienen además el papel de facilitación favoreciendo el establecimiento de otras especies mediante la estabilización del sustrato, o reduciendo el impacto de los factores ambientales limitantes en la duna, como la maresía o la falta de humedad. Entre los resultados obtenidos al respecto en este trabajo cabe destacar que *Lotus creticus*, *Medicago marina*, *Halimium halimifolium*, *Malcolmia littorea* y *Elymus farctus* tienen los mayores valores de S y por tanto su respuesta germinativa (velocidad de germinación) es más rápida cuando la temperatura aumenta. Por ello, son las más competitivas en las temperaturas consideradas como habituales en la época de germinación.

Por otra parte y de acuerdo con los comentarios de autores (Youssef, 2009) probablemente la temperatura no limita el rango de distribución de las especies. En este sentido otros estudios (Schupp, 1995) apuntan que las características ambientales óptimas para la germinación no coinciden necesariamente con las mejores condiciones para el desarrollo de las plántulas. El éxito en la germinación y establecimiento de las nuevas generaciones es un proceso complejo que depende de una combinación de factores ambientales. En el caso de la temperatura, según los resultados obtenidos en este trabajo, el factor determinante no es la temperatura óptima en sí misma, sino que se deben tener en cuenta también otros factores térmicos como la amplitud del rango de temperaturas óptimas, el que exista una preferencia por un régimen de temperaturas alternas o constantes, así como el requerimiento de tiempo térmico (S) para cada especie. Este último entendido como el mínimo de calor acumulado que la planta requiere para completar la fase de germinación, expresado en grados/día.

El efecto del potencial osmótico es también un factor muy estudiado en especies de hábitat con influencia salina. Hay trabajos (Maun, 2009) que citan la salinidad en el sustrato como una de las fuerzas selectivas más potentes en la fase germinativa y de establecimiento de las plántulas. En primavera las semillas están sometidas a diferentes niveles de salinidad en el suelo debido al depósito de la sal aportada por la

maresía y la posible inundación con agua de mar durante las tormentas del invierno. Diversos trabajos analizan la tolerancia de la germinación a la presencia de sal en el medio (Woodell, 1985). Esta tolerancia a la salinidad se ha evaluado considerando, además del porcentaje de germinación y la velocidad, el potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ), que nos dan idea de la competitividad de las especies en el medio en el que viven. Este estudio ha mostrado una respuesta bastante homogénea en las especies estudiadas, consideradas no halófilas. No se han observado respuestas especialmente competitivas frente a este factor dado que las pendientes de las rectas de regresión son todas similares, a excepción de *Malcolmia littorea*, *Medicago marina* y *Lotus creticus*, que muestran una especial sensibilidad a la presencia de sal en el medio, disminuyendo su velocidad de germinación con rapidez al aumentar la concentración de sal. Si destaca *Elymus farctus* por mostrar el potencial base más bajo, que le confiere capacidad de germinación en concentraciones altas de sal, resultando la especie más competitiva en estas condiciones. Sin embargo, también se debe señalar que el hecho de que las semillas germinen en presencia de sal no asegura que las plántulas se desarrollen correctamente y logren establecerse en estas condiciones. Por otro lado, diferentes estudios han constatado que la concentración de NaCl en el sustrato es muy baja en las dunas Maun (2009). La salinidad en la capa superficial de suelo, donde se produce la germinación de las semillas, es muy baja, según (Maun, 2009) entre un 0,003 % y un 0,13 %.

Hay trabajos (Ishikawa & Kachi, 2000), que describen tres tipologías en el hábitat costero, las dunas, los acantilados y los saladares, con diferente salinidad en el suelo; la duna tiene la concentración de sal más baja, entre 10 y 100 mM dependiendo de la distancia al mar, mientras que el saladar alcanza las concentraciones más altas, entre 100 y 500 mM, dependiendo de la climatología, época del año y frecuencia de inundación. Estas bajas concentraciones en la zona de duna pueden deberse a que el suelo arenoso favorece el lavado de la sal en la época de lluvias, momento en el que las semillas encuentran la disponibilidad de agua adecuada para la germinación.

En muchos casos la tolerancia a la sal que se ha detectado en algunas especies se puede interpretar también como una tolerancia al estrés hídrico considerado en un sentido amplio. Este planteamiento coincide con diversos trabajos que evidencian que la tolerancia a la sal, o a la salpicadura salina, no influyen directamente en la zonación (Van-der Valk, 1974; Rejili *et al.*, 2009). Esto está de acuerdo con el hecho de que la tolerancia a la salinidad en diferentes especies está directamente relacionada con el hábitat al que están adaptadas las plantas (Ishikawa & Kachi, 2000). Los resultados

obtenidos para las diferentes especies no muestran una variabilidad significativa en los valores de hidrotiempo, apoyando la hipótesis de que la salinidad tiene un efecto relativo en la zonación de las comunidades dunares.

El cálculo de I_D se aplicó también en el barrido de concentraciones salinas, mostrando así qué concentraciones toleraban las especies en función del porcentaje y la velocidad de germinación. El límite de tolerancia a la presencia de sal en el sustrato se sitúa entre 200 y 300 mM mayoritariamente para todas las especies, con excepción de *Elymus farctus* y *Calystegia soldanella* con un comportamiento más tolerante, germinando incluso a 400 mM, y *Malcolmia littorea* y *Halimium halimifolium*, más sensibles, tolerando hasta 100 mM.

Tras la aplicación de las técnicas de análisis multivariante, se concluye que los parámetros germinativos estudiados muestran un papel relevante en la distribución de las especies en los ecosistemas dunares. Las especies estudiadas se distribuyen en grupos que se corresponden con su situación en el medio natural. En este sentido, las variables que tienen significativamente más peso a la hora de distinguir grupos de comportamiento germinativo son: Tiempo térmico (S), potencial base (Ψ_b), capacidad de germinación a concentraciones salinas bajas, concretamente a 100 mM, y la tolerancia a temperaturas alternas, específicamente 30/10°C. Entre ellas, es el tiempo térmico la variable que ha mostrado un mayor peso en la separación de los grupos de especies. Esto ha puesto de manifiesto la importancia de la consideración de este parámetro en los estudios sobre la distribución y comportamiento de las especies de las comunidades dunares, y potencialmente, de otro tipo de hábitats en los que se requiera relacionar la respuesta biológica con la variación de las condiciones ambientales. Determinar estas relaciones e identificar las especies que potencialmente actúan como colonizadoras en un hábitat concreto, es de gran relevancia en las primeras fases de recuperación de un ecosistema alterado. Esto puede resultar de gran ayuda para establecer programas de restauración en medios amenazados como los litorales, cuya vegetación sufre una gran presión a nivel mundial. De este modo, hay estudios que modelizan la respuesta de la vegetación litoral ante la desaparición del hábitat costero y destaca, el papel y la función de las especies colonizadoras como primer paso para la recuperación de los mismos (Feagin *et al.*, 2005).

Un problema frecuente cuando se tratan temas de recuperación o restauración de estos ecosistemas es la colonización por plantas invasoras. Este tipo de estudios en los que se analizan un amplio conjunto de condiciones, que permitan además el

cálculo del tiempo térmico (S), puede tener una especial utilidad en la evaluación del impacto de estas plantas invasoras sobre las comunidades naturales. Así, en algunos trabajos (Carboni *et al.*, 2010) se analiza la frecuencia de establecimiento de plantas invasoras en las diferentes comunidades de dunas litorales, y se concluye que es la duna de transición la que sufre en mayor medida esta presión. A la vista de los resultados obtenidos se puede decir que esto podría deberse por una parte a las condiciones ambientales menos agresivas, y por otra a la baja competitividad de algunas especies de esta comunidad, como es el caso de *Crucianella maritima* que solo alcanza porcentajes óptimos a temperaturas constantes, en un rango muy estrecho y además muestra valores de tiempo térmico bajos.

Finalmente, todos los argumentos considerados demuestran que este tipo de trabajos son fundamentales a la hora de alcanzar una visión integral del funcionamiento y estructura de este tipo de ecosistemas, que permitirán contar con los datos suficientes para abordar el complejo problema de su protección y conservación.

7 Conclusiones

A partir de los resultados y la discusión en este estudio, se puede concluir que:

- La distribución de las especies en las comunidades dunares es el resultado de la combinación de múltiples factores, entre los que se debe considerar el comportamiento germinativo como la primera barrera que debe superar una planta para prosperar en un medio complejo.
- Cuanto más restrictivas son las condiciones ambientales, como es el caso de los ecosistemas dunares, más importancia tendrá la fase de germinación, entendida como la capacidad de adaptación de la planta en estas primeras fases de vida.
- Una de las adaptaciones observadas corresponde a la presencia de dormición en las semillas. A este respecto, se observa un mayor número de especies con semillas que presentan dormición física entre las características de las dunas móviles.
- El nuevo índice I_2 propuesto ha resultado muy útil a la hora de comparar la velocidad de germinación de las distintas especies independientemente del porcentaje obtenido y de la duración del experimento. Respecto a otros índices utilizados el I_2 mejora el grado de discriminación entre respuestas germinativas similares.
- El índice I_D ha resultado una herramienta importante para determinar el rango de condiciones óptimas de germinación, considerando el porcentaje y la velocidad de germinación de manera conjunta.
- En cuanto al estudio de la respuesta germinativa a diferentes temperaturas, se ha observado un comportamiento de las especies distinto, en cuanto a su preferencia por regímenes constantes o alternos, en función de su distribución en las comunidades dunares. Así:
 - Las comunidades de primera línea de playa están adaptadas a germinar en temperaturas alternas.
 - Las especies de la duna móvil germinan en un rango de temperaturas óptimo muy amplio, tanto en temperaturas constantes como alternas.
 - Las comunidades más alejadas del mar responden mejor a la germinación en temperaturas constantes.

- A partir de los resultados obtenidos se ha observado, en relación con la temperatura óptima de germinación, que el factor determinante es la amplitud del rango de temperaturas a las que se obtienen los mejores valores.
- La tolerancia a la sal tiene un efecto relativo en la zonación de las comunidades dunares ya que la concentración de sal en el sustrato nunca alcanza valores muy elevados. En este sentido se ha obtenido una respuesta bastante homogénea en cuanto a la baja tolerancia a la sal en las especies estudiadas. Simplemente destacan:
 - *Malcolmia littorea*, *Medicago marina* y *Lotus creticus*, que muestran una especial sensibilidad a la presencia de sal en el medio, disminuyendo rápidamente su germinación al aumentar la concentración de NaCl.
 - *Elymus farctus* que ha resultado la especie más tolerante, dado que germina a una mayor concentración de sal que el resto.
 - El cálculo de la temperatura base (T_b), tiempo térmico (S), el potencial osmótico base (Ψ_b) y el hidrotiempo (Θ) ha resultado muy útil para valorar y comparar los resultados de las pruebas de germinación, ya que han proporcionado una interpretación de los resultados muy valiosa, que nos permite estimar la mayor o menor competitividad de las especies bajo las condiciones de temperatura o potencial osmótico consideradas.
- Con respecto al análisis multivariante, las variables que más peso han mostrado en la ordenación de las 15 especies estudiadas, en función de su comportamiento germinativo, han sido: el tiempo térmico (S), el potencial osmótico base (Ψ_b), el porcentaje de germinación a 100 mM y la tolerancia a temperaturas alternas, concretamente a 30/10°C .
- Entre estas variables, el tiempo térmico, es la mayoritariamente responsable de la situación de las especies en los gráficos correspondientes a la proyección espacial, lo cual pone de manifiesto su correlación con la distribución de las mismas en el medio natural.
- Los estudios orientados al conocimiento del comportamiento germinativo de las especies vegetales, se han mostrado muy eficaces como herramienta de trabajo en la planificación y gestión de programas de conservación y restauración de hábitats sometidos a fuerte presión, como es el caso de los que se encuentran en territorios litorales.

A Apéndice

Tablas de coeficientes de las componentes principales y los factores.

Coefficiente PCA1	Variable
-4.4960	Ψ_b
-4.3244	% germinación a 500 mM
-4.3244	I_D a 500 mM
-4.3244	I_2 a 500 mM
-4.2978	escarificado
-4.2623	imbibición
-4.1158	ciclo de vida
-4.0883	% germinación a 400 mM
-4.0275	tipo de tallos
-4.0118	ancho de la semilla
-3.9784	I_D a 400 mM
-3.9739	T_b
-3.8928	biotipo
-3.8430	I_2 a 400 mM
-3.8289	largo de la semilla
-3.4747	% germinación a 300 mM
-3.4688	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para I_2
-3.44645	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para % germinación
-3.3159	Θ
-3.1472	I_D a 300 mM
-2.6774	I_2 a 300 mM
-2.6187	media T_{minopt} para % germinación
-2.4451	media T_{minopt} medio I_2
-2.1797	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
-2.0173	media $T_{mediaopt}$ para I_2
-1.7408	media T_{maxopt} para % germinación
-1.5895	media T_{maxopt} para I_2
-1.0418	% germinación a 200 mM
-0.7945	% germinación a 40/20°C
-0.2261	I_D a 200 mM
0.4482	I_D a 40/20°C
0.7487	% germinación a 10°C
0.9030	I_D a 10°C
1.0836	I_2 a 200 mM
1.6151	I_2 a 10°C
1.8253	% germinación a 30/20°C
2.0210	% germinación a 100 mM
2.3269	% germinación a 30/10°C
2.3304	% germinación a 25°C
2.6311	I_2 a 40/20°C
2.6422	I_D a 30/10°C
2.6579	I_D a 30/20°C
2.6825	I_D a 100 mM
2.9577	I_D a 25°C
3.2951	% germinación a 20°C
3.4458	I_D a 20°C
3.6407	I_2 a 30/10°C
3.7815	I_D a 15°C
3.8081	% germinación a 15°C
3.9091	I_D a 25/10°C
3.9406	% germinación a 25/15°C
4.0001	I_D a 25/15°C
4.0186	% germinación a 25/10°C
4.1216	I_2 a 20°C
4.1755	I_2 a 100 mM
4.1795	I_2 a 30/20°C
4.1998	I_2 a 15°C
4.3190	I_2 a 25°C
4.3755	I_2 a 25/10°C
4.5791	I_2 a 25/15°C
5.3142	S

Tabla A.1: Coeficientes (*loadings*) de la primera componente principal (PCA1) para el conjunto completo de variables.

Coefficiente PCA2	Variable
-2.6923	% germinación a 10°C
-1.8262	I_D a 10°C
-1.5718	% germinación a 30/20°C
-1.5387	% germinación a 200 mM
-1.1137	% germinación a 30/10°C
-0.9915	I_D a 30/20°C
-0.8983	I_2 a 10°C
-0.8560	I_D a 200 mM
-0.8348	% germinación a 25°C
-0.6560	I_2 a 300 mM
-0.5880	I_D a 30/10°C
-0.4533	I_D a 25°C
-0.4356	% germinación a 25/10°C
-0.4043	% germinación a 20°C
-0.3918	I_D a 300 mM
-0.3689	I_D a 20°C
-0.3588	% germinación a 25/15°C
-0.3490	% germinación a 100 mM
-0.2287	I_2 a 400 mM
-0.2097	% germinación a 300 mM
-0.1817	% germinación a 40/20°C
-0.1809	I_D a 25/10°C
-0.1302	% germinación a 15°C
-0.1070	I_D a 400 mM
-0.1056	I_D a 15°C
-0.0983	I_D a 25/15°C
-0.0733	I_2 a 200 mM
-0.0060	% germinación a 400 mM
0.0013	I_2 a 20°C
0.0039	I_D a 100 mM
0.0296	I_2 a 30/20°C
0.0692	I_2 a 15°C
0.1935	T_b
0.2387	escarificado
0.2492	I_2 a 25°C
0.2515	Ψ_b
0.2649	% germinación a 500 mM
0.2649	I_D a 500 mM
0.2649	I_2 a 500 mM
0.2655	I_D a 40/20°C
0.2883	ciclo de vida
0.3139	imbibición
0.3211	tipo de tallos
0.3422	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para % germinación
0.3436	biotipo
0.3688	ancho de la semilla
0.3753	largo de la semilla
0.3859	I_2 a 30/10°C
0.4159	I_2 a 25/10°C
0.4183	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para I_2
0.4468	media T_{minopt} para % germinación
0.4587	media T_{minopt} medio I_2
0.4854	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
0.5241	media T_{maxopt} para % germinación
0.5354	media $T_{mediaopt}$ para I_2
0.5456	I_2 a 25/15°C
0.5926	I_2 a 100 mM
0.6120	media T_{maxopt} para I_2
0.6270	Θ
0.9995	I_2 a 40/20°C
6.1228	S

Tabla A.2: Coeficientes (*loadings*) de la segunda componente principal (PCA2) para el conjunto completo de variables.

Coefficiente PCA3	Variable
-2.0365	I_2 a 20°C
-1.9700	I_2 a 25°C
-1.6663	I_2 a 10°C
-1.4676	I_D a 20°C
-1.1481	I_D a 25°C
-0.9972	% germinación a 20°C
-0.8995	I_D a 10°C
-0.7836	I_D a 15°C
-0.7816	I_2 a 15°C
-0.7068	% germinación a 15°C
-0.6487	I_2 a 25/15°C
-0.5003	% germinación a 25°C
-0.4159	I_2 a 25/10°C
-0.3769	biotipo
-0.3482	media T_{minopt} para % germinación
-0.3326	media T_{minopt} medio I_2
-0.3276	tipo de tallos
-0.3064	Ψ_b
-0.2994	ciclo de vida
-0.2798	escarificado
-0.2791	% germinación a 500 mM
-0.2791	I_D a 500 mM
-0.2791	I_2 a 500 mM
-0.2690	imbibición
-0.2322	media $T_{mediaopt}$ para I_2
-0.2105	% germinación a 10°C
-0.2032	ancho de la semilla
-0.2020	T_b
-0.1907	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
-0.1898	I_2 a 100 mM
-0.1879	I_2 a 40/20°C
-0.1357	largo de la semilla
-0.1318	media T_{maxopt} para I_2
-0.0976	Θ
-0.0875	%germinación a 400 mM
-0.0783	media $\Delta T^{aoptima}$ para I_2
-0.0333	media T_{maxopt} para % germinación
0.0070	I_D a 400 mM
0.0331	I_D a 25/15°C
0.0359	media $\Delta T^{aoptima}$ para % germinación
0.0440	I_2 a 30/10°C
0.1242	I_D a 400 mM
0.2697	% germinación a 300 mM
0.3703	I_2 a 30/20°C
0.3881	I_D a 25/10°C
0.4191	I_D a 300 mM
0.5422	I_D a 30/20°C
0.5673	I_D a 40/20°C
0.6262	I_2 a 300 mM
0.6583	% germinación a 25/15°C
0.7724	% germinación a 30/20°C
0.9373	% germinación a 40/20°C
1.0067	I_D a 30/10°C
1.2426	S
1.2840	% germinación a 25/10°C
1.3535	I_2 a 200 mM
1.3656	I_D a 100 mM
1.3948	I_D a 200 mM
1.4426	% germinación a 200 mM
1.8901	% germinación a 30/10°C
2.6050	% germinación a 100 mM

Tabla A.3: Coeficientes (*loadings*) de la segunda componente principal (PCA3) para el conjunto completo de variables.

Coefficiente FA1	Variable
-1.1549	Ψ_b
-1.1059	escarificado
-1.1005	% germinación a 500 mM
-1.1005	I_D a 500 mM
-1.1005	I_2 a 500 mM
-1.1004	T_b
-1.0886	% germinación a 400 mM
-1.0775	I_2 a 400 mM
-1.0683	imbibición
-1.0632	I_2 a 400 mM
-1.0361	ciclo de vida
-1.0064	tallos
-0.9770	ancho de la semilla
-0.9551	% germinación a 300 mM
-0.9543	biotipo
-0.9205	largo de la semilla
-0.8793	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para % germinación
-0.8756	I_D a 300 mM
-0.8078	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para I_2
-0.7688	% germinación a 200 mM
-0.7502	I_2 a 300 mM
-0.7314	Θ
-0.6804	% germinación a 40/20°C
-0.6592	% germinación a 10°C
-0.5633	media T_{minopt} para % germinación
-0.5289	media T_{minopt} medio I_2
-0.4527	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
-0.3826	media $T_{mediaopt}$ para I_2
-0.3421	media T_{maxopt} para % germinación
-0.3018	I_D a 200 mM
-0.2613	% germinación a 30/20°C
-0.2362	media T_{maxopt} para I_2
-0.3018	I_D a 10°C
-0.0272	% germinación a 30/10°C
-0.0100	I_D a 40/20°C
0.1060	% germinación a 25°C
0.2057	% germinación a 100 mM
0.2495	I_D a 30/20°C
0.3593	I_2 a 200 mM
0.4593	I_D a 30/10°C
0.5202	I_2 a 10°C
0.6063	I_D a 25°C
0.6424	I_D a 100 mM
0.6474	% germinación a 25/10°C
0.7353	% germinación a 20°C
0.8257	% germinación a 25/15°C
0.8952	I_D a 25/10°C
0.9612	I_D a 20°C
1.0630	% germinación a 15°C
1.0661	I_D a 25/15°C
1.0819	I_D a 15°C
1.1010	I_2 a 30/20°C
1.2193	I_2 a 40/20°C
1.2755	I_2 a 15°C
1.3265	I_2 a 30/10°C
1.4081	I_2 a 20°C
1.4147	I_2 a 25/10°C
1.4450	I_2 a 100 mM
1.5096	I_2 a 25°C
1.5992	I_2 a 25/15°C
3.5321	S

Tabla A.4: Coeficientes (*loadings*) de la segunda componente principal (FA1) para el conjunto completo de variables.

Coefficiente FA2	Variable
-1.3855	Ψ_b
-1.3327	% germinación a 500 mM
-1.3327	I_D a a 500 mM
-1.3327	I_2 a 500 mM
-1.3227	imbibición
-1.3224	escarificado
-1.2866	ciclo de vida
-1.2747	tipos de tallos
-1.2628	biotipo
-1.2607	T_b
-1.2320	ancho de la semilla
-1.2203	% germinación a 400 mM
-1.1650	largo de la semilla
-1.1577	I_D a a 400 mM
-1.1499	Θ
-1.08	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para I_2
-1.079	I_2 a 400 mM
-1.0843	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para % germinación
-0.9199	media T_{minopt} para % germinación
-0.8976	media T_{minopt} medio I_2
-0.8960	% germinación a 300 mM
-0.7795	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
-0.7734	media $T_{mediaopt}$ para I_2
-0.6492	media T_{maxopt} para I_2
-0.6444	I_D a a 300 mM
-0.6390	media T_{maxopt} para % germinación
-0.2714	I_2 a 300 mM
-0.0678	% germinación a 40/20°C
0.0925	I_D a 40/20°C
0.2531	I_D a 10°C
0.2839	I_2 a 10°C
0.3858	% germinación a 10°C
0.4790	I_2 a 40/20°C
0.6223	S
0.6436	% germinación a 25°C
0.6709	I_D a 25°C
0.7726	I_D a 15°C
0.7738	I_D a 20°C
0.7972	I_2 a 15°C
0.8169	% germinación a 20°C
0.8207	I_2 a 20°C
0.8590	I_2 a 25°C
0.8761	% germinación a 15°C
0.8890	I_2 a 25/15°C
0.9304	I_2 a 25/10°C
0.9485	I_D a 25/15°C
0.9702	% germinación a 200 mM
0.9782	I_D a 30/20°C
0.9846	% germinación a 30/20°C
0.9933	I_D a 25/10°C
1.0072	I_2 a 30/10°C
1.0117	I_2 a 100 mM
1.0408	I_D a 200 mM
1.0455	I_D a 30/10°C
1.0835	I_2 a 30/20°C
1.1036	% germinación a 25/15°C
1.1808	% germinación a 25/10°C
1.2583	% germinación a 30/10°C
1.3014	I_2 a 200 mM
1.3274	I_D a 100 mM
1.5904	% germinación a 100 mM

Tabla A.5: Coeficientes (*loadings*) de la segunda componente principal (FA2) para el conjunto completo de variables.

Coefficiente FA3	Variable
-1.5732	I_2 200 mM
-1.5380	S
-1.3741	I_D a 200 mM
-1.2467	% germinación a 200 mM
-1.2069	% germinación a 100 mM
-1.1221	I_2 a 300 mM
-1.0345	I_D a 200 mM
-0.9769	% germinación a 300 mM
-0.9288	I_2 a 400 mM
-0.9092	I_D a 400 mM
-0.9065	largo de la semilla
-0.8936	% germinación a 400 mM
-0.8820	ancho de la semilla
-0.8774	ψ_b
-0.8763	imbibición
-0.8707	Media $\Delta T^{a_{optima}}$ para I_2
-0.8667	% germinación a 500 mM
-0.8667	I_D a 500 mM
-0.8667	I_2 a 500 mM
-0.8356	escarificado
-0.8224	ciclo de vida
-0.8155	media $\Delta T^{a_{optima}}$ para % germinación
-0.7975	tipo de tallos
-0.7965	Θ
-0.7474	biotipo
-0.6784	T_b
-0.5375	media T_{minopt} para % germinación
-0.5119	media $T_{mediaopt}$ para % germinación
-0.4956	I_D a 100 mM
-0.4863	media T_{maxopt} para % germinación
-0.4597	media T_{maxopt} para I_2
-0.4577	media T_{medopt} para I_2
-0.4557	media T_{minopt} para I_2
0.3561	% germinación a 30/10°C
0.4259	I_2 a 30/10°C
0.4270	I_D a 30/10°C
0.5106	I_2 a 40/20°C
0.5934	% germinación a 40/20°C
0.5965	I_D a 40/20°C
0.6772	I_2 a 100 mM
0.8895	I_2 a 30/20°C
0.9591	% germinación a 25/15°C
0.9673	I_D a 30/20°C
0.9805	I_2 a 25/10°C
0.9892	% germinación a 30/20°C
1.0283	I_2 a 10°C
1.0337	I_D a 25/10°C
1.0467	I_D a 25/15°C
1.0528	% germinación a 25/10°C
1.0866	I_2 a 25/15°C
1.1707	% germinación a 15°C
1.2539	I_D a 15°C
1.2908	I_2 a 25°C
1.3181	I_2 a 15°C
1.3570	I_2 a 20°C
1.3641	I_D a 10°C
1.3570	% germinación a 20°C
1.3856	I_D a 20°C
1.4051	I_D a 25°C
1.4348	% germinación a 25°C
1.7553	% germinación a 10°C

Tabla A.6: *loadings*) de la tercera componente principal (FA3) para el conjunto completo de variables.

Bibliografía

- Abbad, A., Hadrami, A. E., & Benchaabane, A. Germination responses of mediterranean saltbrush (*Atriplex halimus* L.) to NaCl treatment. *Journal of Agronomy*, 3(2):111–114, 2004. 3
- Acosta, A., Ercoles, S., Stanisci, A., de Patta Pillar, V., & Blasi, C. Coastal vegetation zonation and dune morphology in some mediterranean ecosystems. *Journal of coastal research*, 23:1518–1524, 2007. 1
- Alcaraz, F. & Garre, M. Las adaptaciones de las plantas en las dunas litorales del sureste de españa. *Anales de Biología*, 4:11–14, 1985. 1, 21, 255
- Alsadon, A., Yule, L. J., & Powell, A. Influence of seed ageing on the germination, vigour and emergence in modulate trays of tomato and cucumber seeds. *Seed Science and Technology*, 23:665–672, 1995. 4, 37, 257
- Alvarez-Rogel, J., Martínez-Sánchez, J., Carrasco, I., & Marín, C. A conceptual model of salt marsh plant distribution in coastal dunes of southeastern spain. *Wetlands*, 26:703–717, 2006. 1
- Barbour, M., Jong, T. D., & Paulik, B. *Marine beach and dune plant communities*. CRC Press, 1985. 21
- Bazzaz, F. *Plants in changing environments linking physiological pupulation and community ecology*. Cambridge University Press. Cambridge., 1996. 34
- Ben-Gal, A., Neori-Borochov, H., Yermiyahu, U., & Shani, U. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? *Environmental and Experimental Botany*, 65:232–237, 2009. 56
- Benavent, J., Collado, P., Martí, R., Muñoz, A., Quintana, A., Sánchez, A., & Vizcaíno, A. *La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia*. Ayuntamiento de Valencia, 2004. 2
- Benech-Arnold, R., Ghera, C., Sánchez, R., & García, A. The role of fluctuating temperatures in the germination and establishment of *Sorghum halepense* (L.) Pers. regulation of germination under leaf canopies. *Functional Ecology*, 2:311–318, 1988. 258

- Bradford, K. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*, 94:840–849, 1990. 4, 55
- Bradford, K. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50:248–260, 2002. 4, 54
- Cadotte, M., Mai, D., Jantz, S., Collins, M. D., Keele, M., & Drake, J. On testing the competition-colonization trade-off in a multispecies assemblage. *The American Naturalist*, 168:704–709, 2006. 258
- Carboni, M., Santoro, R., & Acosta, A. Are some communities of the coastal dune zonation more susceptible to alien plant invasion? *Journal of Plant Ecology*, 3: 139–147, 2010. 262
- Carter, C. & Ungar, I. Relationship between seed germinability of *Spergularia marina* (Caryophyllaceae) and formation of zonal communities in an inland salt marsh. *Annals of Botany*, 93:119–125, 2004. 3, 34
- Castroviejo, S. Plantas vasculares de la península ibérica e islas baleares. [vol. I: Lycopodiaceae- Papaveraceae; vol. II: Platanaceae-Plumbaginaceae; vol. III: Plumbaginaceae-Capparaceae; vol. IV: Cruciferae- Monotropaceae; vol. V: Ebenaceae-Saxifragaceae; vol. VI: Rosaceae; vol. VII (1-2): Leguminosae; vol. VIII: Haloragaceae-Euforbiaceae; vol. X: Araliaceae-Umbelliferae; vol. XII: Verbenaceae-Labiatae-Callitrichaceae; vol. XIII: Plantaginaceae-Scrophulariaceae; vol. XIV: Myoporaceae-Campanulaceae; vol. XV: Rubiaceae-Dipsacaceae; vol. XVII: Butomaceae-Commelinaceae; vol. XVIII: Cyperaceae-Pontederiaceae; vol. XXI: Smilacaceae-Orchidaceae]. In Castroviejo, S., editor, *Flora Ibérica*. Real Jardín Botánico de Madrid. CSIC., 1986-2010. <http://www.floraiberica.org>. 7
- Cheng, Z. & Bradford, K. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *Journal of Experimental Botany*, 50:88–99, 1999. 4
- Costa, M. *La vegetació al País Valencià*. Secretariat de Publicacions. Universitat de València., 1986. 24, 25
- Dahal, P. & Bradford, K. Hydrothermal time analysis of tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. *Seed Science Research*, 4: 71–80, 1994. 4
- Deb, K. *Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. Wiley, 2001. 44, 45

- Debez, A., Hamed, K., Grignon, C., & Abdelly, C. Salinity effects on germination, growth and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant and Soil*, 262(1–2):179–189, 2004. 3, 38, 257
- Densmore, R. Effect of day length on germination of seeds collected in alaska. *American Journal of Botany*, 84(2):274–278, 1997. 3, 33
- Donohue, K., de Casas, R. R., Burghardt, L., Kovach, K., & Willis, C. Germination, postgermination, adaptation and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 41:293–319, 2010. 4, 255
- Doussi, M. & Thanos, C. Ecophysiology of seed germination in mediterranean geophytes.I. *Muscari* spp. *Seed Science Research*, 12:193–201, 2002. 37
- FAO-UNESCO. *Soil map of the world. Revised legend. 1:5.000.000. World soil resources report 60*. FAO-UNESCO, 1988. 26
- Feagin, R., Sherman, D., & Grant., W. Coastal erosion, global sea-level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Front. Ecol. Environ.*, 3:359–364, 2005. 261
- Franks, S. J. Facilitation in multiple life-history stages: evidence for nucleated succession in coastal dunes. *Plant Ecology*, 168:1–11, 2003. 255
- García-Breijo, F., Roselló-Caselles, J., & Santamarina-Siurana, M. *Introducción al funcionamiento de las plantas*. UPV, 2006. 34
- García-Fayos, P. *Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de uso forestal de la Comunidad Valenciana*. 2001. 28
- García-Novo, F., Barradas, M. D., Zunzunegui, M., Mora, R. G., & Fernández, J. G. *Ecological Studies. Coastal Dunes, Ecology and Conservation*, volume 171. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2004. 22
- Gozlan, S. & Gutterman, Y. Dry storage temperatures, duration and salt concentrations affect germination of local and edaphic ecotypes of *Hordeum spontaneum* (Poaceae) from israel. *Biological Journal of the Linnean society*, 67(163–180): 163–180, 1999. 3, 33
- Gulzar, S. & Khan, M. Seed germination of halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Annals of Botany*, 87:319–324, 2001. 3, 34, 38, 256
- Hardegree, S. & Vactor, S. V. Predicting germination response of four cool-season range grasses to field-variable temperature regimes. *Environmental and Experimental Botany*, 41:209–217, 1999. 4
- Hardegree, S. & Vactor, S. V. Germination and emergence of primed grass seed under field and simulated-field temperature regimes. *Annals of Botany*, 85:379–390, 2000. 4

- Hardegree, S., Vactor, S. V., Pierson, F., & Palmquist, D. Predicting variable-temperature response of non-dormant seeds from constant-temperature germination data. *Journal Range Management*, 52:83–91, 1999. 4
- Haykin, S. *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. IEEE Press, 1994. 50
- Heusinkveld, B. *On dew and micrometeorology in an arid coastal ecosystem*. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands., 2008. 1
- Honda, Y. Ecological correlations between the persistence of the soil seed bank and several plant traits, including seed dormancy. *Plant Ecology*, 196:301–309, 2008. 256
- Hopkins, T. *La física del mar*, chapter 2, pages 103–137. Omega, 1989. 33
- Howard, R. & Mendelssohn, I. Salinity as a constraint on growth of oligohaline marsh macrophytes. I. species variation in stress tolerance. *American Journal of Botany*, 86(6):785–794, 1999a. 3
- Howard, R. & Mendelssohn, I. Salinity as a constraint on growth of oligohaline marsh macrophyte. II. salt pulses and recovery potential. *American Journal of Botany*, 86(6):795–806, 1999b. 3
- Huang, A. & Gutterman, Y. Water absorption by mucilaginous achenes of *Artemisia monosperma*: floating and germination as affected by salt concentrations. *Israel Journal of Plant Sciences*, 47:27–34, 1999. 3
- Huttenlocher, D., Klyerman, G., & Rucklidge, W. Comparing images using the hausdorff distance. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(9):850–863, 1993. 47
- Ievinsh, G. Biological basis of biological diversity: physiological adaptations of plants to heterogeneous habitats along a sea coast. *Acta Universitatis Latviensis*, 710: 53–79, 2006. 1, 3, 255
- Isasi, P. & Galván, I. *Redes de Neuronas Artificiales. Un Enfoque Práctico*. Pearson, 2004. 50, 52
- Ishikawa, S. & Kachi, N. Differential salt tolerance of two *Artemisia* species growing in contrasting coastal habitats. *Ecological Research*, 15:241–247, 2000. 260
- Ishikawa, S., Furukawa, A., & Oikawa, T. Zonal plant-distribution and edaphic and micrometeorological conditions on a coastal sand dune. *Ecological Research*, 10: 259–266, 1995. 2
- Jacobs, A., Heusinkvel, B., & Berkowicz, S. Dew measurements along a longitudinal sand dune transect, Negev Desert, Israel. *International Journal Biometeorology*, 43:184–190, 2000. 1

- Jamila, Z., Arbi, G., & Mohamed, M. Germination responses of *Spartidium saharae* (Coss. & Dur.) Pomel (Fabaceae) to temperature and salinity. *African Journal of Ecology*, 48:37–44, 2010. 257
- Jusaitis, M., Polomka, L., & Sorensen, B. Habitat specificity, seed germination and experimental translocation of the endangered herb *Brachycome muelleri* (Asteraceae). *Biological Conservation*, 116:251–266, 2004. 34
- Kachi, N. & Hiroshi, T. Limiting nutrients for plant growth in coastal sand dune soils. *Journal of Ecology*, 71:934–944, 1983. 255
- Katembe, W., Ungar, I., & Mitchell, J. Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae). *Annals of Botany*, 82:167–175, 1998. 3, 38, 256
- Kebreab, E. & Murdoch, A. Modelling the effects of water stress and temperature on germination rate of *Orobanche aegyptiaca* seeds. *Journal of Experimental Botany*, 50:655–664, 1999. 4
- Khan, M. & Gul, B. *Halophyte seed germination*. Springer, 2 edition, 2008. 3
- Khan, M. & Ungar, A. The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *American Journal of Botany*, 71:481–489, 1984. 3, 38, 256, 257
- Khan, M. & Ungar, I. Effects of thermoperiod on recovery of seed germination of halophytes from saline conditions. *American Journal of Botany*, 84(2):279–283, 1997. 3, 33, 38, 256
- Khan, M., Gul, B., & Weber, D. Germination responses of *Salicornia rubra* to temperature and salinity. *Journal of Arid Environments*, 45:207–214, 2000. 3, 34, 38, 256
- Laguna, E. *Habitats prioritarios de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana. Conselleria de Territori i Habitatge., 2003. 2
- Lane, C., Wright, S., Roncal, J., & Maschinski, J. Characterizing environmental gradients and their influence on vegetation zonation in a subtropical coastal sand dune system. *Journal of Coastal Research*, 24:213–224, 2008. 2
- Liu, J. & Zhu, J. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 114:591–596, 1997. 3
- Martin, A. The comparative internal morphology of seeds. *American Midland Naturalist*, 36:513–660, 1946. 7
- Martin, A. & Barkley, W. *Seed identification manual*. University of California Press, 1961. 7

- Martínez, M., Valverde, T., & Moreno-Casasola, P. Germination response to temperature, salinity light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia*, 92:343–353, 1992. 3
- Mateo, G. & Crespo, M. *Manual para la determinación de la flora valenciana*. 4^a edición edition, 2009. 7
- Maun, M. *The biology of coastal sand dunes*. 2009. 1, 22, 258, 259, 260
- Maun, M. & Perumal, J. Zonation of vegetation on lacustrine coastal dune: effect of burial by sand. *Ecology Letters*, 2:14–18, 1999. 255
- Molina, J., Casermeiro, M., & Moreno, P. Vegetation composition and soil salinity in a spanish mediterranean coastal ecosystem. *Phytocoenologia*, 33:475–494, 2003. 255
- Navarro, L. & Guitian, J. The role of floran biology and breeding system on the reproductive success of narrow endemic *Petrocoptis viscosa* Roth. (Caryophyllaceae). *Biological Conservation*, 103:125–132, 2002. 37
- Navarro, L. & Guitian, J. Seed germination and seedling survival of two threatened endemic species of northwest iberian peninsula. *Biological conservation*, 109:313–320, 2003. 34
- Noe, G. & Zedler, J. Differential effects of four abiotic factors on the germination of saltmarsh annuals. *American Journal of Botany*, 87(11):1679–1692, 2000. 34, 38, 257
- Prado, F., Boero, C., Gallardo, M., & González, J. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41:27–34, 2000. 3
- Pérez, A., editor. *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana (1961-1990)*. Number 4 in Publicacions de Divulgació Tècnica. Col.lecció “Territori”. Generalitat Valenciana. Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transport., 1994. 31
- Pujol, J., Calvo, J., & Ramírez-Díaz, L. Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from Southeastern Spain. *Annals of Botany*, 85:279–286, 2000. 3, 33, 38, 256
- Redondo-Gómez, S., Andrades-Moreno, R., Parra, R., Mateos-Naranjo, E., & Sánchez-Lafuente, A. Factors influencing seed germination of *Cyperus capitatus*, inhabiting the moving sand dunes in Southern Europe. *Journal of Arid Environments*, 75:309–312, 2011. 256, 257
- Rejili, M., Vadel, A., Guetet, A., Mahdhi, M., Lachiheb, B., & Mars, M. Influence of temperature and salinity on the germination of *Lotus creticus* (L.) from the arid

- land of Tunisia. *African Journal of Ecology*, pages 1–9, 2009. 257, 260
- Roselló, V. M. *El litoral valencià*. Sèrie taronja. 1969. 21
- Rubio, J., Forteza, J., & Gimeno, E. *Catálogo de suelos de la Comunidad Valenciana*. 1995. 26
- Rubio, J., Andreu, V., & Sanchis, E. Los suelos de la Devesa de la Albufera. *Revista Valenciana d'Estudis Autònoms*, pages 129–144, 1998. 26
- Schupp, E. Seed-seedling conflicts, habitat choice, and patterns of plant recruitment. *American Journal of Botany*, 82:399–409, 1995. 259
- Shaffi, B. & Price, W. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 6(3): 356–366, 2001. 4
- Sharma, D. & Anderson, W. The influence of climatic factors and crop nutrition on seed vigour in wheat. Australian Society of Agronomy, 2003. 256
- Skordilis, A. & Thanos, C. Seed stratification and germination strategy in the Mediterranean pines *Pinus brutia* and *P. halepensis*. *Seed Science Research*, 5: 151–160, 1995. 37
- Sánchez, A. Memoria de las jornadas virtuales proyecto life-enebro. el proyecto life-enebro, abril 2008. 2
- Thanos, C. & Georghiou, K. Osmoconditioning enhances cucumber and tomato seed germinability under adverse light conditions. *Israel Journal of Botany*, 37:1–10, 1988. 37, 257
- Thanos, C., Georghiou, K., Douma, D., & Marangaki, C. Photoinhibition of seed germination in Mediterranean maritime plants. *Annals of Botany*, 68:469–475, 1991. 256
- Thompson, K. & Grime, J. A comparative study of germination responses to diurnally fluctuating temperatures. *J. Appl. Ecol.*, 20:141–156, 1983. 258
- Thompson, K., Grime, J., & Mason, G. Seed germination in response to diurnal fluctuations of temperature. *Nature*, 267:147–149, 1977. 258
- Timson, J. New methods of recording germination data. *Nature*, 207:216–217, 1965. 38, 256
- Tobe, K., Li, X., & Omasa, K. Seed germination and radicle growth of halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Annals of Botany*, 85:391–396, 2000. 3, 33, 37, 256
- Trudgill, D. Why do tropical poikilothermic organisms tend to have higher threshold temperatures for development than temperate ones? *Functional Ecology*, 9:136–

- 137, 1995. 4, 258
- Trudgill, D., Honek, A., & van Straalen, N. Thermal time - concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, 146:1–14, 2005. 4, 54, 258
- Van-der Valk, A. Environmental factors controlling the distribution of forbs on foredunes in cape hatteras national seashore. 52:1057–1073, 1974. 260
- Venable, D. & Brown., J. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. *Am. Nat.*, 131:360–384, 1988. 256
- Walmsley, C. & Davy, A. Germination characteristics of shingle beach species, effects of seed ageing and their implications for vegetation restoration. *Journal of Applied Ecology*, 34:131–142, 1997. 3
- Wang, R., Bai, Y., & Tanino, K. Effect of seed size and sub-cero imbibition-temperature on the thermal time model of winterfat *Eurotia lanata* (Pursh) Moq.). *Enviromental and Experimental Botany*, 51:183–197, 2004. 4
- Wartena, L. Macroclimate, microclimate and dune formation along the West European coast. *Landscape Ecology*, 6:15–27, 1991. 1, 255
- Watkinson, A. & Davy, A. Population biology of salt marsh and sand dune annuals. *Journal of Vegetation Science*, 62:487–497, 1985. 3
- Woodell, S. Salinity and seed germination patterns in coastal plants. *Vegetatio*, 61: 223–229, 1985. 260
- Youssef, A. M. Seed germination of some desert plants from Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, 5:144–150, 2009. 259
- Yu, K., Rhew, H., & Kim, S. Aeolian sand as a nutrient carrier into the coastal dune-field. In *30th Congress of International Geographical Union. Glasgow, Scotland, 2004*. 22
- Yu, S., Bell, D., & Kutiel, P. Impact of microhabitats on the heterogeneity of seedling emergence in a Mediterranean coastal sand dunes community. *Ecoscience*, 16:369–378, 2009. 1
- Yura, H. & Ogura, G. Sandblasting as a possible factor controlling the distribution of plants on a coastal dune system. *Plant Ecology*, 185:199–208, 2006. 2, 255
- Zia, S. & Khan, M. Effect of lighth, salinity and temperature on seed germination of *Limonium stocksii*. *Canada Journal of Botany*, 82:151–157, 2004. 3, 34, 256