



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Análisis de las condiciones edafoclimáticas y tolerancia a la
salinidad del endemismo valenciano exclusivo *Limonium*
irtaense

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural

AUTOR/A: Molina Carabella, Eloy

Tutor/a: Boscaiu Neagu, Mónica Tereza

Cotutor/a: Lidón Cerezuela, Antonio Luis

Cotutor/a externo: Ferrer Gallego, Pablo

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
**Escuela Técnica superior de Ingeniería Agronómica y del
Medio Natural**



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**



**Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural**

**“Análisis de las condiciones edafoclimáticas y tolerancia a la salinidad
del endemismo valenciano exclusivo *Limonium irtaense*”**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Alumno: Eloy Molina Carabella

Tutora: Mónica Tereza Boscaiu Neagu

Co-tutor: Antonio Luis Lidón Cerezuela

Tutor externo: Pablo Ferrer-Gallego

CURSO ACADÉMICO 2023/2024

Valencia, Julio de 2024

Resumen

Limonium irtaense Ferrer *et al.* (l'ensopeguera d'Irta) es una especie endémica exclusiva de la Comunidad Valenciana, localizada únicamente en la Sierra de Irta. Esta halófito, recientemente descubierta, se encuentra amenazada por un alto riesgo de extinción, por lo que se considera una especie de interés especial, incluida en los programas de recuperación que lleva a cabo el Centro de Investigación y Experimentación Forestal (CIEF). Este estudio tiene dos objetivos principales: analizar las condiciones edafoclimáticas del área de distribución de *Limonium irtaense*, así como la capacidad de respuesta de la especie a la salinidad durante las fases de germinación y crecimiento vegetativo. Se ha elegido este factor ambiental por su alto grado de variación e inestabilidad debido al efecto del cambio climático observado en los últimos años. El trabajo incluye, en relación al primer objetivo propuesto, la recogida de muestras de suelo para su posterior análisis en el laboratorio de Edafología. El segundo objetivo se llevó a cabo en primer lugar en el laboratorio de Botánica, donde se germinaron semillas en diferentes condiciones de salinidad, con el fin de comprobar la respuesta de la especie en esta etapa de su ciclo biológico. Las semillas que no germinaron, fueron transferidas a nuevas placas Petri con agua destilada para evaluar su capacidad de recuperación. Una vez finalizado el ensayo de germinación, las plántulas obtenidas se trasplantaron a semilleros, donde se observó su supervivencia y tolerancia a salinidad elevada en condiciones controladas de invernadero. Por último, los datos recogidos fueron analizados mediante tratamiento estadístico.

Todos los ensayos realizados han permitido conocer con detalle los valores de las diferentes variables edafológicas del suelo donde las especies vegetales residen actualmente. Además, se ha podido comprobar que, durante la germinación, las semillas sometidas a los tratamientos de control son las que han germinado en un mayor número. Sin embargo, la capacidad de supervivencia una vez los individuos fueron trasplantados a semilleros, ha sido más elevada en aquellos donde originariamente se había aplicado alguno de los tratamientos con concentración de salinidad media o elevada. Finalmente, también se ha observado un efecto del tratamiento y de origen de las semillas sobre los parámetros morfológicos de las plantas en los ensayos realizados en invernadero, donde el crecimiento de los individuos sometidos al tratamiento de salinidad con una concentración más elevada se ha visto reducido levemente.

Palabras clave: endemismo, halófito, conservación, condiciones edáficas, salinidad

Abstract

Limonium irtaense Ferrer *et al.* (l'ensopeguera d'Irta) is an endemic species exclusive to the Valencian Community, located only in the Sierra de Irta. This recently discovered halophyte is threatened by a high risk of extinction and is therefore considered a species of special interest, included in the recovery programmes carried out by the Centre for Research and Forestry Experimentation (CIEF). This study has two main objectives: to analyse the soil and climatic conditions in the area of distribution of *Limonium irtaense*, as well as the species' capacity to respond to salinity during the germination and vegetative growth phases. This environmental factor has been chosen because of its high degree of variation and instability due to the effect of climate change observed in recent years. The work includes, in relation to the first proposed objective, the collection of soil samples for subsequent analysis in the Soil Science laboratory. The second objective was firstly carried out in the Botany laboratory, where seeds were germinated under different salinity conditions, in order to check the response of the species at this stage of its biological cycle. The seeds that did not germinate were transferred to new Petri dishes with distilled water to assess their recovery capacity. Once the germination test was completed, the seedlings obtained were transplanted to seedbeds, where their survival and tolerance to high salinity under controlled greenhouse conditions was observed. Finally, the data collected were analysed by statistical treatment.

All the tests carried out have provided detailed information on the values of the different soil variables of the soil where the plant species currently live. In addition, it was found that, during germination, the seeds submitted to the control treatments germinated in greater numbers. However, the survival capacity once the individuals were transplanted to seedbeds was higher in those where some of the treatments with medium or high salinity concentrations had originally been applied. Finally, an effect of the treatment and origin of the seeds on the morphological parameters of the plants was also observed in the greenhouse trials, where the growth of the individuals subjected to the salinity treatment with a higher concentration was slightly reduced.

Keywords: endemism, halophyte, conservation, edaphic conditions, salinity

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT DE LA ESPECIE ESTUDIADA	2
2.1.	Medio físico	4
2.1.1.	Climatología.....	4
2.1.2.	Geología y geomorfología	6
2.1.3.	Hidrología	7
2.2.	Medio biótico	8
2.2.1.	Flora.....	8
2.2.2.	Fauna	8
3.	DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	8
3.1.	Las plantas halófitas e importancia de conservación de la especie	8
3.2.	Género <i>Limonium</i>	9
3.3.	Características de la especie.....	10
4.	OBJETIVOS DEL TRABAJO	10
5.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
5.1.	Estudio del entorno y parámetros edafológicos	11
5.2.1.	Procesado de las muestras.....	13
5.2.2.	Determinación del factor de humedad	14
5.2.3.	Determinación de la pedregosidad	15
5.2.4.	Textura	15
5.2.5.	Carbonatos	17
5.2.6.	pH	17
5.2.7.	Conductividad eléctrica.....	18
5.2.8.	Materia orgánica	18
5.2.9.	Capacidad de intercambio catiónico	20
5.2.	Germinación de las semillas y capacidad de respuesta	21
5.3.	Capacidad de supervivencia y crecimiento de las plantas	23
5.4.	Tratamiento estadístico de los datos.....	27
6.	RESULTADOS	27
6.1.	Estudio del entorno y parámetros edafológicos	27
6.1.1.	Pedregosidad.....	27
6.1.2.	Textura	27
6.1.3.	Carbonatos	28
6.1.4.	pH	28

6.1.5. Conductividad eléctrica	29
6.1.6. Materia orgánica	29
6.1.7. Capacidad de intercambio catiónico	30
6.2. Germinación de las semillas y capacidad de recuperación	30
6.3. Capacidad de supervivencia y crecimiento de las plantas	33
7. CONCLUSIONES	38
8. BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos meteorológicos tomados de la estación meteorológica de Benicarló (Castellón), situada en la proximidad a las poblaciones estudiadas de <i>Limonium irtaense</i> . Los datos han sido recopilados de la página web del SIAR.....	5
Tabla 2: Muestras de suelo recogidas de las diferentes poblaciones de <i>Limonium irtaense</i>	13
Tabla 3: Clasificación de la salinidad del suelo según el valor de CE en el extracto de saturación y en el extracto 1:5.....	18
Tabla 4: Clasificación del tipo de suelo según el valor de C.I.C. del mismo	20
Tabla 5: Tipos de tratamiento en función de la concentración de salinidad aplicados durante los ensayos de germinación de las semillas de <i>Limonium irtaense</i>	22
Tabla 6: Tratamientos de salinidad aplicados en los ensayos de crecimiento de los individuos de <i>Limonium irtaense</i> , durante la fase de invernadero	25
Tabla 7: Calculo de la cantidad de NaCl para preparar las soluciones salinas utilizadas en la evaluación del crecimiento de los individuos de <i>Limonium irtaense</i>	25
Tabla 8: Pedregosidad expresada en porcentajes de las muestras de suelo de las diferentes poblaciones de <i>Limonium irtaense</i>	27
Tabla 9: Porcentajes de los tres diferentes tipos de partículas (arena, limo y arcilla) en el suelo de cada población, así como la clase textural de cada una de ellas.....	28
Tabla 10: Contenido de carbonatos (%) en las muestras de suelo de cada población. 28	
Tabla 11: Valores medios de pH del suelo de las diferentes poblaciones de <i>Limonium irtaense</i>	28
Tabla 12: Datos de la conductividad eléctrica para el extracto 1:5 del suelo de cada una de las poblaciones, con la clasificación en función de la salinidad.	29
Tabla 13: Valores medios de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) expresados en cmolc/kg en los suelos de cada población.	30
Tabla 14: Capacidad de supervivencia de los individuos de <i>Limonium irtaense</i> tras el traslado a macetas en invernadero	34
Tabla 15: ANOVA de dos factores considerando el tratamiento salino en el ensayo de crecimiento en invernadero (Factor A) y el origen de las semillas (Factor B) y su interacción (los valores indicados representan la p).....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del Parque Natural de la sierra de Irta a escala comarcal.....	3
Figura 2: Mapa de la zonificación interna del Parque Natural de la sierra de Irta	4
Figura 3: Diagrama ombroclimático creado a partir de los datos de la estación meteorológica de Benicarló (Castellón).....	6
Figura 4: Mapa de la hidrología superficial de la Sierra de Irta.....	7
Figura 5: Aspecto de la especie vegetal <i>Limonium irtaense</i>	10
Figura 6: Mapa de la ubicación de las poblaciones de <i>Limonium irtaense</i> en la sierra de Irta. Al norte se visualiza el núcleo urbano de Peñíscola.....	12
Figura 7: Materiales empleados para la obtención de muestras de suelo	13
Figura 8: Procesado de las muestras de suelo en el laboratorio de edafología	14
Figura 9: Diagrama triangular de las clases texturales del suelo del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).....	16
Figura 10: Determinación de la textura mediante la prueba del densímetro de Bouyoucos.....	16
Figura 11: Lectura del pH mediante pH-metro.....	18
Figura 12: Comparación del color inicial de la muestra con el color resultante final tras la reacción de la misma con FeSO_4	20
Figura 13: Lectura de los cloruros mediante el aparato MKI Chlorude analyzer 926....	21
Figura 14: Preparación de las semillas para los ensayos de germinación	22
Figura 15: Traspaso de las semillas de los tratamientos 3, 4 y 5 a nuevas placas Petri para evaluar la capacidad de recuperación	23
Figura 16: Trasplante de las plántulas de <i>Limonium irtaense</i> a maceta en invernadero	24
Figura 17: Desarrollo de los individuos de <i>Limonium irtaense</i> trasplantados en invernadero.....	24
Figura 18: Preparación del material vegetal, tanto parte radical (A) como aérea (B), para la medición de los diferentes parámetros morfológicos y biológicos.	26
Figura 19: Cantidad de materia orgánica presente en el suelo de las poblaciones de <i>Limonium irtaense</i> , expresada en porcentaje.	29
Figura 20: Porcentaje de las semillas germinadas a lo largo de los 14 días de tratamiento durante los ensayos de germinación en presencia de diferentes concentraciones de NaCl (A) y durante los ensayos de la capacidad de recuperación (B).	31
Figura 21: Porcentaje de la germinación final de los tratamientos con salinidad y de la germinación final para los ensayos de la capacidad de recuperación.	32
Figura 22: Tiempo medio de germinación para los tratamientos de germinación con sal y los ensayos de la capacidad de recuperación.....	33
Figura 23: Peso expresado en gramos de la parte aérea y radical de los individuos de <i>Limonium irtaense</i> en función de los tratamientos de origen, indicados en la parte superior del eje de abcisas, y de los tratamientos realizados durante la fase de crecimiento	36
Figura 24: Enrojecimiento de las hojas tras la aplicación del tratamiento de Control en uno de los individuos de <i>Limonium irtaense</i>	37
Figura 25: Aspecto físico de la parte aérea tras la aplicación del tratamiento de salinidad 600 mM en uno de los individuos de <i>Limonium irtaense</i>	37

RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal el análisis de las condiciones climáticas y edáficas de las poblaciones existentes del endemismo valenciano *Limonium irtaense*, así como la evaluación de su tolerancia a la salinidad en varias etapas de su ciclo biológico, un factor ambiental muy variable y directamente relacionado con el cambio climático.

De esta forma, se podrá conocer más detalladamente la ecología de dicha especie, que en un futuro, al igual que la gran mayoría de plantas halófitas, podría jugar un papel fundamental en tareas de repoblación o de mejora de hábitats.

Es por ello, que, de los 17 O.D.S. existentes, el O.D.S. nº15, “vida de ecosistemas terrestres”, es el que más relación mantiene con los objetivos propuestos en este trabajo, clasificándose así con un grado alto de relación con el mismo.

El objetivo principal de este trabajo es el de analizar las condiciones edáficas y climáticas de las poblaciones existentes del endemismo *Limonium irtaense* y evaluar su capacidad de respuestas frente a la salinidad, un factor ambiental muy variable y directamente relacionado con el cambio climático, en varias etapas de su ciclo biológico.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría mostrar mis agradecimientos a mi tutora Mónica Boscaiu, por haberme guiado durante todo el proceso de la realización de este trabajo de fin de grado y haberme proporcionado todos los materiales y la ayuda necesaria, así como a Diana Mircea, que durante su realización de la tesis doctoral en la Universitat Politècnica de València me ha brindado todo el apoyo necesario para poder llevar a cabo todas las pruebas que se desarrollan a lo largo del estudio. También a mi tutor externo, el Dr. Pablo Ferrer-Gallego, por la aportación del material vegetal que ha hecho posible que este trabajo se lleve a cabo.

Por otro lado, agradecer a José Vicente y Joana, que junto a mi cotutor Antonio Lidón, han tenido una gran paciencia durante las numerosas horas de trabajo en el laboratorio de edafología, orientándome y aportando todos los elementos necesarios para determinar los diversos parámetros edafológicos del suelo.

También, me gustaría reconocer la colaboración de Josep Cardà, técnico del Grupo Vaersa de Castellón, el cual nos acompañó a la Sierra de Irta para poder obtener las diferentes muestras de suelo, aportándonos toda la información de la zona relacionada con el tema de estudio.

Por último, agradecer a mis compañeros del grado, ahora amigos, que me han aconsejado a lo largo de estos 4 años y han hecho que esta experiencia sea más llevadera, así como a mi familia, que me han apoyado incondicionalmente siempre que lo he necesitado, conduciéndome por el camino correcto.

1. INTRODUCCIÓN

Un endemismo es un taxón, habitualmente una especie, con una distribución limitada a un marco geográfico restringido. Las plantas endémicas poseen una gran vulnerabilidad, pues cuentan con poblaciones en general reducidas, pero su función puede ser clave en los ecosistemas. En muchas situaciones pueden ser utilizadas como parámetros que estiman el estado de salud del territorio. Es por ello por lo que su protección ante amenazas de extinción es fundamental.

El área de distribución de una especie endémica es aquella que tiene las condiciones adecuadas para su supervivencia. Un río, un océano o una cadena montañosa son algunas barreras naturales que delimitan estas áreas restringidas e impiden que las especies endémicas se dispersen a otros sitios.

En el parque natural de la “Sierra de Irta” (provincia de Castellón) se encuentra un endemismo vegetal exclusivo llamado *Limonium irtaense* Ferrer et al., especie conocida comúnmente como *l'ensopeguera d'Irta*, cuya traducción equivalente en castellano es *la saladilla de Irta*, objeto de este trabajo.

1.1. Antecedentes

Limonium irtaense Ferrer et al. se descubrió en el año 2011, gracias a los trabajos de rastreo del “Servicio de la Vida Silvestre de la Generalitat Valenciana”, pero fue descrita unos años más tarde, en 2015. En aquel momento únicamente se contabilizaron unos 19 ejemplares, los cuales constituían toda la población mundial de la saladilla (Navarro et al., 2020).

La especie fue identificada gracias al detallado análisis florístico de la zona de la Sierra de Irta, realizado con el objetivo de hallar individuos de *Limonium perplexum* L. Sáez & Rosselló, otra especie del mismo género con máximo nivel de protección (peligro crítico de extinción) incluido en el Catálogo Valenciano de Especies de Flora Amenazadas y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Ferrer-Gallego et al., 2019).

Desde el año 2013 se han ido realizando censos periódicos de las dos poblaciones naturales de estas especies, ambas ubicadas en la Sierra de Irta, en la proximidad de Peñíscola y con una separación de 1500 m. Se ha podido observar que la población máxima de *Limonium irtaense* se alcanzó en 2016, con un total de 21 ejemplares, a diferencia de los 10 individuos contabilizados en el 2020, mientras que la segunda población con un número más escaso de individuos en este mismo año presentaba solamente un individuo. Este descenso brusco en dicho año, es debido al efecto de la borrasca Gloria que azotó la costa levantina en enero de 2020, arrasando con gran parte de los individuos de la saladilla de Irta (Navarro et al., 2020).

No obstante, a pesar de la reducción de los individuos en las dos poblaciones naturales, en los últimos años se ha registrado un aumento del efectivo poblacional total de esta especie gracias a los esfuerzos de conservación y translocaciones realizadas por el personal y entidades colaboradoras con el CIEF (Centro para la Investigación y Experimentación Forestal), en cuyos viveros se han multiplicados centenares de individuos. En total se han plantado 279 nuevos ejemplares en áreas cercanas a los núcleos naturales (Navarro et al., 2020).

Dichas labores constituyeron un proceso dividido en tres partes: una primera fase *in situ* de rastreo y georreferenciación por grupos de los ejemplares de *L. irtaense* así como la recogida de sus semillas; una segunda parte realizada *ex situ*, la cual consistió

en la germinación de dichas semillas en las instalaciones del CIEF; y por último, una tercera parte llevada a cabo *ex situ*, de trasplantación de los individuos producidos en vivero en localizaciones próximas a las poblaciones originales de *L. irtaense*, para incrementar el número de individuos de esta especie. Es así como se han establecido en total 5 poblaciones en la sierra de Irta provenientes de translocaciones, junto a dos núcleos donde la especie crece de forma natural, siendo uno de los dos afectado gravemente por el temporal Gloria (Navarro *et al.*, 2020).

Cabe destacar el aspecto educativo de este plan de recuperación, al ser los alumnos y profesores del IES Serra de Irta, en colaboración con el CIEF, quienes pusieron en marcha un huerto semillero y desarrollaron acciones de divulgación sobre la importancia ecológica de la saladilla, su reproducción y conservación del hábitat. (Vinaròs News, 2020).

Otro esfuerzo de conservación de esta especie es el último realizado en abril de 2024, por parte de las brigadas RedNatura2000, donde se llevaron a cabo nuevas traslocaciones en el término municipal de Vinarós, cofinanciado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Grupo Vaersa, 2024).

2. DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT DE LA ESPECIE ESTUDIADA

El lugar de estudio de este trabajo de fin de grado es La Sierra de Irta (Castellón), de donde es originaria la especie vegetal objeto del estudio. La Sierra de Irta está incluida en un parque natural y se alza en el litoral norte de la Provincia de Castellón, más concretamente en la comarca del Baix Maestrat. Comprende los términos municipales de Peñíscola, cuyo núcleo urbano limita la sierra al norte, Santa Magdalena de Pulpis y Alcalá de Xivert, cuyos núcleos urbanos limitan al oeste. En la zona sur, la sierra limita con el núcleo de población de Alcocóber, perteneciente al término municipal de Alcalá de Xivert. Bañado por las aguas del mediterráneo, el parque cuenta con una extensión de 7752,57 ha terrestres y 2448 hectáreas marinas.

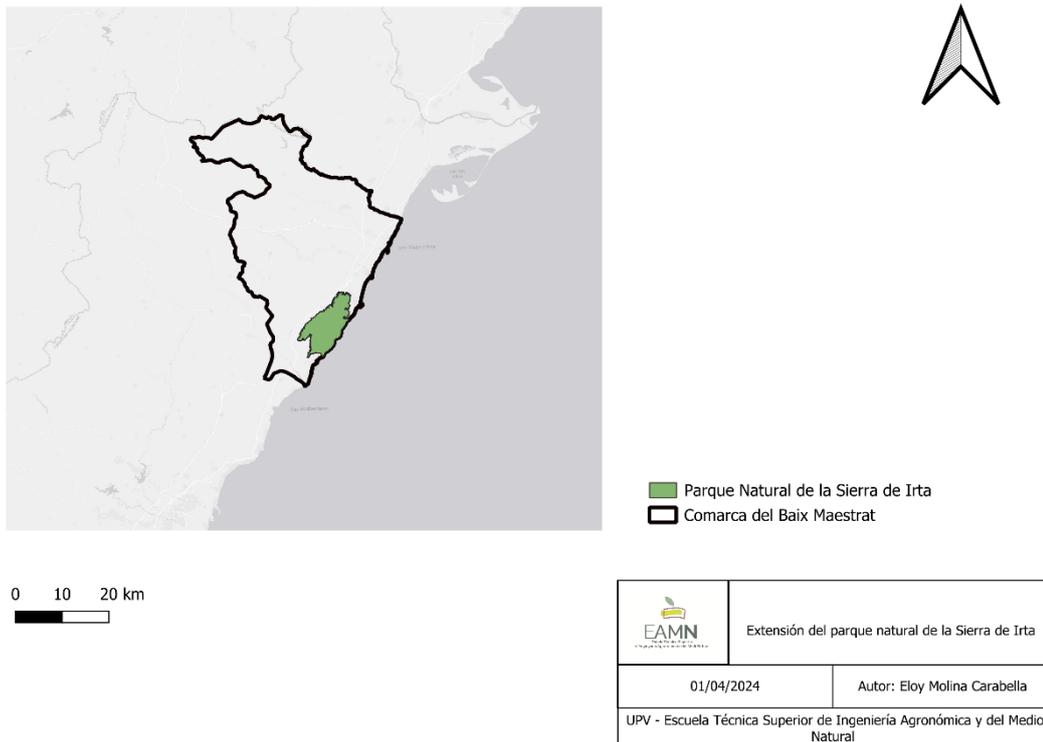


Figura 1: Mapa del Parque Natural de la sierra de Irta a escala comarcal.

Esta zona fue incluida en la lista de espacios naturales protegidos y catalogada como Parque Natural y Reserva Marina el 16 de Julio de 2002, por la Generalitat Valenciana. También está incluida en la Red Natura 2000, como Lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) (Institut Cartogràfic Valencià -Generalitat Valenciana, s.f.).

La sierra cuenta con numerosos acantilados y calas escondidas, pues sus montañas descienden abruptamente hasta el nivel del mar. Es una de las últimas sierras vírgenes del litoral valenciano, debido a la ausencia histórica de asentamientos humanos, así como el abandono progresivo de la explotación agrícola y ganadera.

La zonificación interna de la parte terrestre de la Sierra de Irta cuenta con las siguientes categorías:

- Área de expansión urbana
- Área de predominio agrícola
- Áreas de protección ecológica
- Áreas de protección paisajística
- Áreas naturales
- Áreas urbanizadas

Por otra parte, la zonificación del área que coincide con la reserva marina se divide en las siguientes áreas (Figura 2):

- Reserva integral
- Reserva marina

La Reserva Marina de la Sierra de Irta se rige por la siguiente legislación (Conselleria d'Agricultura, Ramaderia i Pesca - Generalitat Valenciana, s.f.).

- Decreto 163/2006
- LEY/5/2017, de 10 de febrero, de la Generalitat, de Pesca Marítima y Acuicultura de la Comunitat Valenciana
- DECRETO 76/2017, de 9 de junio, del Consell, por el que se regulan las autorizaciones de las actividades subacuáticas de recreo en las reservas marinas de interés pesquero de la Comunitat Valenciana

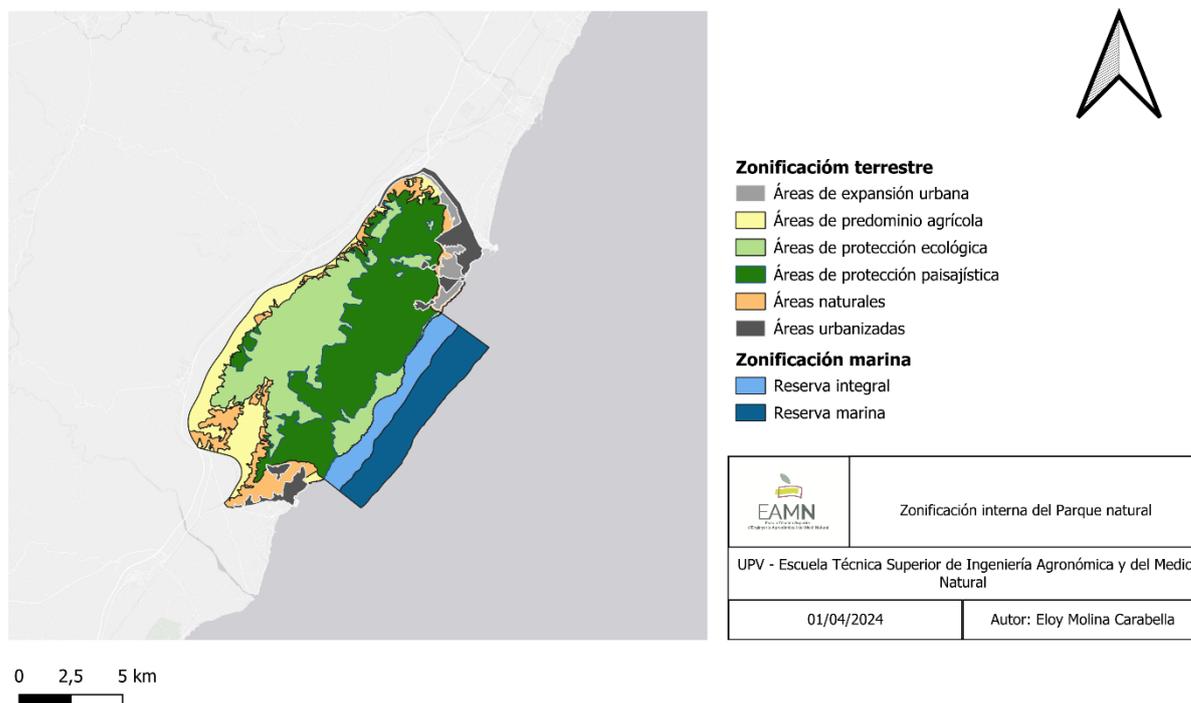


Figura 2: Mapa de la zonificación interna del Parque Natural de la sierra de Irta

2.1. Medio físico

2.1.1. Climatología

La fuente de datos meteorológicos utilizada es la del SIAR (Sistema de información agroclimática para el regadío) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.). La estación meteorológica seleccionada para describir el clima que presenta el lugar donde se hallan las poblaciones de *Limonium irtaense* en la Sierra de Irta es la del municipio de Benicarló (Castellón), ya que es la más completa y cercana a la zona de estudio, situada aproximadamente a 10 km, y la cual presenta las siguientes características:

- Coordenadas
 - UTM X: 788624
 - UTM Y: 4478990
- Huso: 30 N
- Altitud: 12 m.s.n.m.

- Serie climática disponible: 2006-2023

Los datos climáticos indicados en la Tabla 1 responden a los típicos de un clima mediterráneo, con temperaturas suaves en invierno, pues la temperatura media en esta época es alrededor de 10°C, y calurosas en verano, donde la temperatura media alcanza valores en torno a los 26°C. La temperatura media anual es de 17,1°C.

En cuanto a las precipitaciones, se destaca la irregularidad de las mismas, siendo julio el mes más seco, con una media de 20,7 mm acumulados, y septiembre el mes más húmedo, con una media de 73,6 mm.

La humedad ambiental, no obstante, se mantiene estable a lo largo de todo el año, pues alcanza unos valores en torno al 70%. Es por ello que se considera una zona con alta humedad ambiental, lo cual podría estar estrechamente relacionado con la cercanía al mar de la misma.

La Temperatura media anual es de 17,1°C, mientras que la precipitación media anual es de 518,2 mm (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, s.f.).

*Tabla 1: Datos meteorológicos tomados de la estación meteorológica de Benicarló (Castellón), situada en la proximidad a las poblaciones estudiadas de *Limonium irtaense*. Los datos han sido recopilados de la página web del SIAR.*

	Tª Media (°C)	Pp media (mm)	Tª Max media (°C)	Tª Min media (°C)	Hum. Media (%)
Enero	9,6	45,2	15,6	4,7	70,9
Febrero	10,8	22,9	16,4	5,6	70,5
Marzo	12,7	55,9	18,2	7,5	70
Abril	14,3	46,1	20,3	9,9	70,6
Mayo	18,4	38,3	23,7	12,9	69,8
Junio	22,3	22,7	27,4	16,7	70,1
Julio	25,5	20,7	30,5	20,1	69,8
Agosto	25,5	27,6	30,6	20,3	69,1
Septiembre	22,5	73,6	27,7	17,6	73,5
Octubre	18,5	69,2	24	13,8	74,8
Noviembre	13,7	62,6	19,3	9	71,8
Diciembre	10,8	33,4	16,4	5,9	74,1
Media anual	17,1	518,2	22,5	12,0	71,3

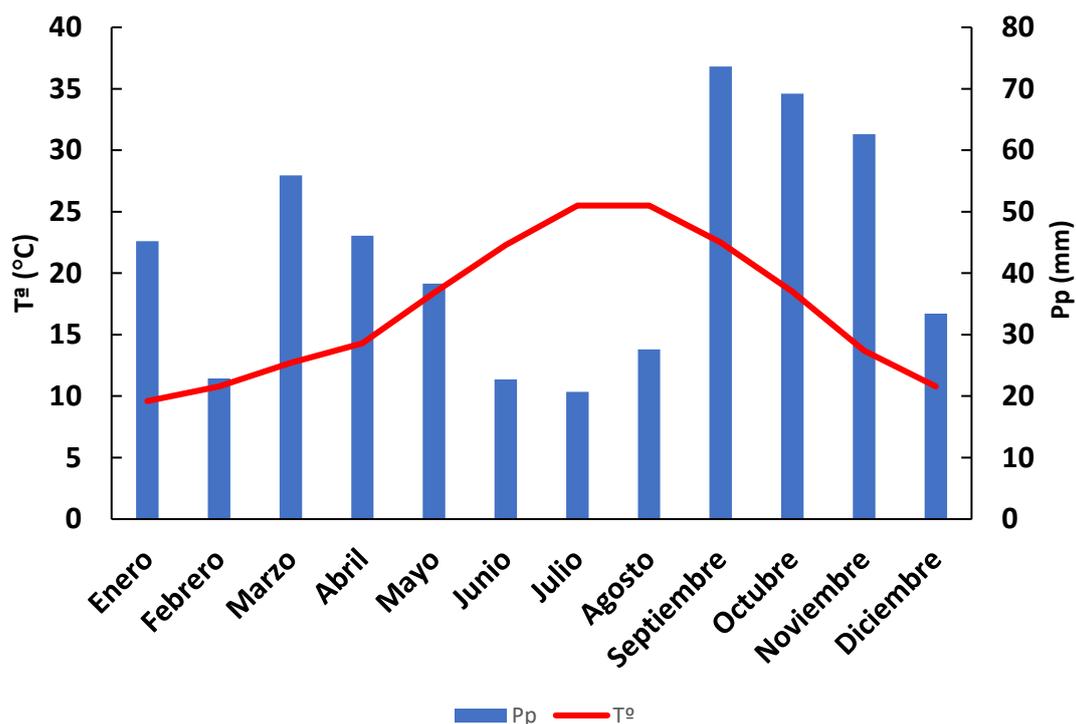


Figura 3: Diagrama ombroclimático creado a partir de los datos de la estación meteorológica de Benicarló (Castellón).

2.1.2. Geología y geomorfología

La Serra d'Irta constituye una alineación montañosa paralela a la línea de costa, perteneciente a la cordillera costero-catalana, con dirección NNE-SSW, de 7 km de anchura media y con una longitud próxima a los 20 km.

El relieve de la sierra está constituido fundamentalmente por materiales carbonatados jurásicos y cretácicos y acumulaciones detríticas cuaternarias de escasa magnitud.

En la parte central de este relieve aparecen una serie de cumbres alineadas según un eje, que alcanzan una altura media de unos 450 m, con altura máxima en los 572 m del pico de Campanilles, el cual se sitúa aproximadamente a 4 km del mar, existiendo una pendiente media de 12% en el flanco oriental de la sierra.

En la Serra d'Irta resultan de interés las formas de desarrollo externo del modelaje kárstico, así como las de desarrollo subterráneo y las grandes surgencias de agua dulce. Las formas de desarrollo externo se encuentran representadas en la sierra por las morfologías de lapiaz, cuyo origen se relaciona con la disolución de calcáreas y las dolomías debajo de la cubierta edáfica, o simplemente por la acción de las aguas de lluvia o de las aguas de mar sobre la superficie de estas rocas. Algunos ejemplos de morfología lapiaz que se observan en la Serra d'Irta son las estrías, crestas, fisuras, cavidades, orificios tubulares, etc., que se forman en la superficie de rocas carbonatadas. También encontramos formas singulares de lapiaz en la franja costera, representadas por balsas de corrosión y superficies rugosas que se desarrollan sobre grandes bloques y placas bien cementadas.

Las formas de desarrollo interno o superficial del medio kárstico se caracterizan por la formación de redes de conductos o cavidades (simas y cuevas) que se desarrollan

desde la superficie del terreno hasta las partes más profundas, llegando incluso a las zonas de descarga (Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori - Generalitat Valenciana, s.f.).

2.1.3. Hidrología

Hidrología superficial

La proximidad de la costa condiciona la escasa longitud de los barrancos y torrentes fluviales desarrollados en su vertiente oriental, que en el caso del barranco de Irta, el mayor de ellos, el cauce principal alcanza algo más de 6 km (Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori - Generalitat Valenciana, s.f.).

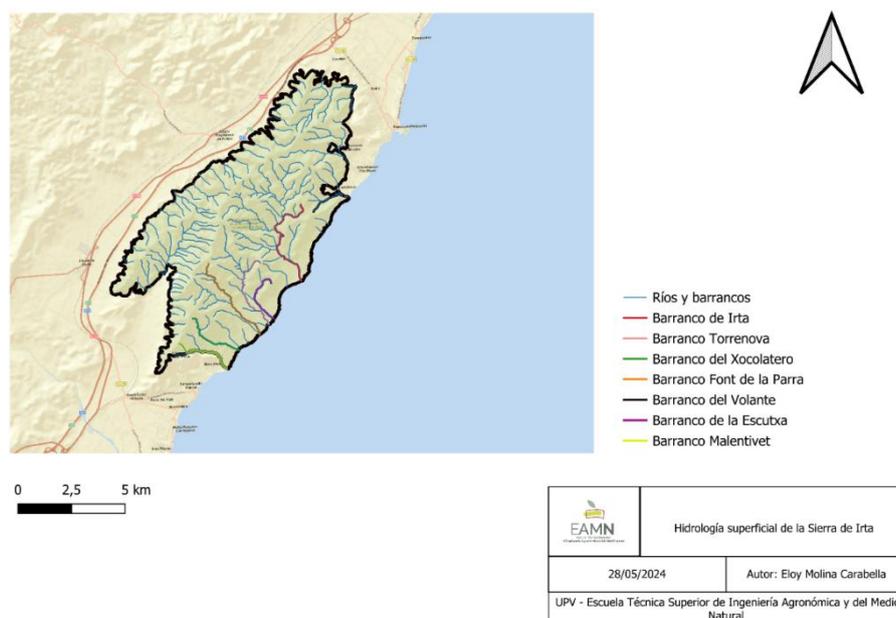


Figura 4: Mapa de la hidrología superficial de la Sierra de Irta

Algunos de los barrancos y torrentes más significativos del Parque Natural son los siguientes (ver Figura 4):

- Barranco de Irta
- Barranco de Torrenova
- Barranco del Xocolatero
- Barranco Font de la Parra
- Barranco del Volante
- Barranco de la Escutxa
- Barranco Malentivet

Hidrología subterránea

Las infiltraciones de agua en el interior de la sierra forman los acuíferos del Maestrat, y pueden aparecer como salidas naturales de agua dulce en fuentes y pozos, como sería el caso del Pou del Moro, Mas del Senyor, etc. En la costa, las infiltraciones se traducen en surgencias que desembocan al mar, como las que se observan a los pies del acantilado de Torre Badum y en la Playa del Ruso (Sánchez, 2021).

2.2. Medio Biótico

2.2.1. Flora

La vegetación de la Sierra de Irta responde a un paisaje típico mediterráneo. En ella, predominan las especies características de dicho ecosistema como *Chamaerops humilis* L., el cual permanece formando matorrales, otras especies arbustivas leñosas como *Pistacia lentiscus* L., *Rhamnus lycioides* L. o *Quercus coccifera* L., y, por último, constituyendo la vegetación potencial de la sierra, *Pinus halepensis* Mill. el cual ha sustituido a los carrascales y conforma las únicas masas forestales del parque natural. No obstante, se pueden encontrar algunas especies de olmo y chopos en el interior de la sierra, pero únicamente en zonas donde la abundancia de agua y humedad lo hace posible, como lo son en la confluencia de barrancos y torrentes (Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori - Generalitat Valenciana, s.f.).

Dentro del parque natural, también se pueden observar especies halófilas y aquellas que son típicas de zonas costeras mediterráneas, como lo son el *Pancratium maritimum* L., *Crithmum maritimum* L. y *Teucrium dunense* Sennen, o especies arbustivas típicas mediterráneas como algunas del género *Cistus* L., *Lotus creticus* L., *Erica multiflora* L., *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau, *Anthyllis cytisoides* L., *Euphorbia* L. spp., *Globularia alypum* L. e incluso otras especies del género *Limonium* Mill. (Naturaleza, Etnobotánica y Desarrollo, s.f.)

2.2.2. Fauna

Dentro de la fauna del parque Natural destacan las aves por ser el grupo más numeroso y faunístico de la sierra. Aquellas que viven en los matorrales son las más abundantes, como las diferentes especies de curruca (*Sylvia Scopoli* spp.)

También cabe destacar la presencia de aves rapaces diurnas y nocturnas como por ejemplo el águila perdicera (*Hieraaetus fasciatus* Viellot), el cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus* L.), el ratonero y el águila culebrera (*Circaetus gallicus* Gmelin).

Las especies que mayor interés generan son aquellas que disponen de su hábitat en el ambiente litoral, como la gaviota Audouin (*Larus audouinii* Payraudeau), la cual está catalogada como especie vulnerable o el cormorán (*Phalacrocorax carbo* L.).

De igual modo, muchos mamíferos típicos de hábitats mediterráneos pueden hallarse en la Sierra de Irta, como es el caso del Jabalí (*Sus scrofa* L.), la ardilla roja (*Sciurus vulgaris* L.), el tejón (*Meles meles* L.) o la gineta (*Genetta genetta* L.) (Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori - Generalitat Valenciana, s.f.).

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

3.1. Las plantas halófitas e importancia de conservación de la especie

Limonium irtaense Ferrer *et al.* al igual que la mayoría de las especies de este género, es una especie halófito estricta, es decir, crece únicamente en zonas salinas.

Las plantas halófitas son aquellas que están adaptadas naturalmente a crecer y vivir, y son capaces de completar su ciclo de vida bajo condiciones de alta salinidad del suelo (Flowers & Colmer, 2008). De hecho, algunas de estas especies requieren un cierto grado de salinidad para crecer bien, mientras que otras en esta categoría se podrían desarrollar mejor en condiciones de poca sal, pero por consecuencia estarían sujetas a una alta competencia con otras plantas más desarrolladas y más robustas, ya que su nicho es perfecto para esa categoría (Grigore *et al.*, 2012).

El adjetivo halófilo proviene del griego *halo-* y *filo-*, refiriéndose a “amante de la sal”. Las plantas halófilas logran compensar el exceso de salinidad mediante distintas adaptaciones morfológicas o fisiológicas. Por su adaptación a suelos pobres donde otras especies vegetales no podrían sobrevivir, se consideran un recurso natural que podría ser clave para la sostenibilidad en un futuro amenazado por el cambio climático en el que la falta de suelos fértiles será un problema, por lo que su conservación y mejora del hábitat es de gran importancia (Fuchs, 2019).

Los hábitats característicos de las especies halófilas son las zonas costeras, dunas, acantilados, lagunas, marismas o riberas de lagos salinos. Muchos de estos ecosistemas se encuentran gravemente amenazados, especialmente en el litoral mediterráneo, donde la presión turística y la expansión agrícola e industrial han dejado una gran huella sobre ellos, así como el cambio climático. Esta razón vuelve a reforzar la idea de la conservación y expansión de las poblaciones de las halófitas, que en un futuro no muy lejano serán de las pocas especies vegetales que soporten las condiciones de estos ecosistemas.

La Sierra de Irla, constituye un hábitat idóneo para este tipo de especies, especialmente en sus áreas más próximas al mar. La especie halófila *Limonium irtaense*, debido a su escasez y endemidad, está clasificada dentro de la categoría CR (Críticamente amenazada) de la clasificación de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). La especie tiene un alto grado de interés científico y conservacionista pero sus poblaciones aun dependen de la propagación mediante translocaciones de material producido *ex situ* (Navarro *et al.*, 2020).

3.2. Género *Limonium*

El género *Limonium* Mill. pertenece a la familia *Plumbaginaceae* y comprende alrededor de 400 especies, encontrándose más de 100 de ellas en España, especialmente en las costas mediterráneas. Se trata de un género que comprende una complejidad taxonómica importante, debido al elevado grado de especiación que presenta. Es común que una comarca, una laguna, una playa determinada o cualquier ecosistema reducido presente su propia especie de *Limonium*, como lo es el caso del endemismo de la sierra de Irla, *Limonium irtaense*. A este complejo de taxones se añade el fenómeno de hibridación, que se produce entre algunas especies del género, e incluso entre los propios híbridos, lo cual complica aún más su estudio y amplía su diversidad de especies (Flora Silvestre Mediterránea, s.f.).

De hecho, el 70% del número total de especies de *Limonium* en la región mediterránea son endémicas, y tanto en España como en Italia y Grecia es el género más rico en especies endémicas. Más concretamente, dentro de la Comunidad Valenciana, se encuentran 29 especies de *Limonium*, 22 de las cuales son endemismos, un 51,72% de ellas endemismos valencianos exclusivos y el otro 24,14% endemismos ibero-levantinos (Laguna *et al.*, 2020).

No obstante, el género incluye muchos taxones amenazados, pues hasta 159 especies en todo el mundo aparecen en listas rojas, catálogos de especies amenazadas o listas de especies protegidas, de las cuales, un gran porcentaje se halla en las regiones costeras mediterráneas (Flora Silvestre Mediterránea, s.f.),

Las especies del género *Limonium* se desarrollan en zonas costeras salobres como acantilados o dunas, o incluso áreas continentales como lagunas, prados salinos, estepas o zonas áridas, es por ello que son clasificadas como especies halófitas (Erben, 1993).

A pesar de su amplia variedad de especies, éstas poseen determinados caracteres morfológicos particulares que ayudan en gran medida a su reconocimiento.

3.3. Características de la especie

Se trata de una hierba perenne, que en ocasiones puede ser anual o bienal. Su aspecto es más o menos glabro, y puede alcanzar entre los 40-70 cm de alto. Sus hojas, miden 4 cm de largo y 1 cm de ancho, poseen un color verde en la brotación y se disponen formando una roseta basal (Figura 5). Son espatuladas, obtusas y mucronadas, y también uninervias (Ferrer Gallego *et al.* 2015).

La planta tiene una inflorescencia abierta de 15 a 30 cm de longitud, con espiguillas dispuestas de manera suelta. Las espigas son sueltas, rectas o ligeramente curvadas hacia abajo, y las espiguillas tienen de una a tres flores. Cada flor, mide de 3 a 5 mm de diámetro, y su cáliz sobrepasa la bráctea interna por 1-1,6 mm. Sus pétalos son de color violeta, emarginados y cuneiformes, y su estigma es papilado. El polen, posee un retículo fino y una malla estrecha. El fruto mide 1,5 x 0,5 mm (Ferrer Gallego *et al.*, 2019).



Figura 5: Aspecto de la especie vegetal *Limonium irtaense*

4. OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo es el de analizar las condiciones edáficas y climáticas de las poblaciones existentes del endemismo *Limonium irtaense* y evaluar su capacidad de respuestas frente a la salinidad en varias etapas de su ciclo biológico, un factor ambiental muy variable y directamente relacionado con el cambio climático.

Para ello, se proponen varios objetivos específicos:

- Estudio de los parámetros edafoclimáticos básicos del suelo (textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, C.I.C.) de la Sierra de Irta, donde actualmente se halla la especie y de donde se han obtenido las muestras del suelo, así como un estudio del entorno de las diferentes poblaciones de *L. irtaense*.
- Análisis de la capacidad de germinación de *L. irtaense* en presencia de diversas concentraciones de NaCl, comparándolas con la germinación en ausencia de sal.
- Análisis de la capacidad de recuperación de la germinación en agua destilada de aquellas semillas que no han germinado durante el primer ensayo en presencia de sal.
- Comparación del éxito de crecimiento vegetativo en presencia de varias concentraciones de NaCl de las plántulas de *L. irtaense* obtenidas en los ensayos de germinación a diferentes niveles de salinidad.

Los resultados obtenidos serán transferidos a los organismos responsables de la gestión de dicha especie, con la finalidad de apoyo a los planes de recuperación. Es por ello que, debido a los objetivos mencionados, el O.D.S. con el que más relación mantiene este trabajo corresponde con el nº15, “vida de ecosistemas terrestres”.

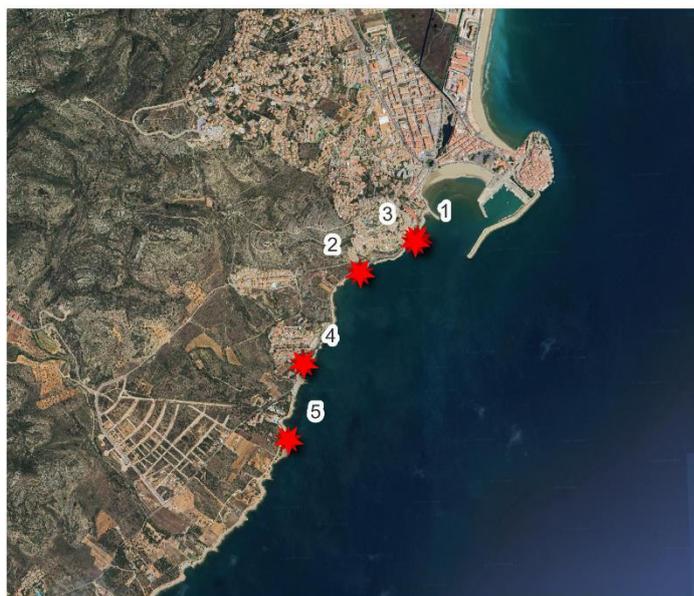
Además, el trabajo permitirá afianzar la capacidad de conocer, comprender y utilizar los principios de las Repoblaciones forestales, el Paisajismo Forestal y la Recuperación de espacios degradados, competencia incluida en el módulo de Tecnologías específicas de Explotaciones Forestales de la orden CIN/324/2009, mejorando la capacidad para medir, inventariar y evaluar los recursos forestales, aplicar y desarrollar las técnicas selvícolas y de manejo de todo tipo de sistemas forestales, parques y áreas recreativas, y la capacidad para analizar la estructura y función ecológica de los sistemas y recursos forestales, incluyendo los paisajes.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Estudio del entorno y parámetros edafológicos

Para llevar a cabo esta parte del trabajo, fue necesario desplazarse al parque natural, para recoger muestras de suelo y analizarlas posteriormente en el laboratorio de Edafología de la U.P.V, acompañados por el técnico de la empresa Vaersa de Castellón. Se visitaron 6 poblaciones de *Limonium irtaense* de la zona, analizando su estado, así como diferentes parámetros de su entorno, como las especies vegetales existentes o el grado de conservación de la zona.

Cinco de ellas pertenecían a traslocaciones, mientras que la población restante correspondía con la zona natural de la especie, llamada Núcleo 1. En el mapa de la Figura 6, se pueden observar la localización de las 5 poblaciones y la del núcleo 1, todas ellas situadas próximas a la localidad de Peñíscola, y en primera línea de costa, pudiendo suponer las altas concentraciones de salinidad presentes en el ambiente que esta ubicación conlleva.



poblaciones 

	Localización del Parque natural de la Sierra de Irta	
	01/04/2024	Autor: Eloy Molina Carabella
UPV - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural		

*Figura 6: Mapa de la ubicación de las poblaciones de *Limonium irtaense* en la sierra de Irta. Al norte se visualiza el núcleo urbano de Peñíscola.*

De cada población, se extrajeron 3 muestras de suelo diferentes, para disponer de más información de la zona de estudio, así como de la variabilidad de los parámetros a analizar en el laboratorio. Los materiales empleados fueron los siguientes:

- Pala
- Pico
- Pincel
- Bolsas de plástico (donde se introducía la muestra)
- Etiquetas

En la Tabla 2 se detalla la relación de muestras recogidas de cada una de las cinco poblaciones seleccionadas. Se tomaron en total 15 muestras, 3 muestras por población, considerando la población 1 y la 3 como la misma debido a su gran proximidad, como se observa en la Figura 6. A causa de la elevada pedregosidad del suelo, no hizo falta el uso de barrena, pues todas las muestras se obtuvieron con la pala a una profundidad en torno a los 5 cm. Se trata, por tanto, de muestras superficiales tomadas en el equivalente a la zona radicular de las plantas.

Tabla 2: Muestras de suelo recogidas de las diferentes poblaciones de *Limonium irtaense*.

	Nombre de la muestra	Profundidad (cm)
Población 1	Z1	5
	Z1'	5
Población 3	Z3	5
Población 2	Z2	5
	Z2'	5
	Z2''	5
Núcleo 1	N1	5
	N1'	5
	N1''	5
Población 4	Z4	5
	Z4'	5
	Z4''	5
Población 5	Z5	5
	Z5'	5
	Z5''	5

Las muestras se tomaron el 10 de abril de 2024, y cada muestra se introdujo en una bolsa que fue rotulada con el nombre de la población de la cual provenía la muestra de suelo, la fecha de su obtención, y la profundidad máxima a la que fue obtenida. En la Figura 7 se muestra un detalle de los materiales utilizados para la obtención de las muestras de suelo.



Figura 7: Materiales empleados para la obtención de muestras de suelo

Una vez recogidas todas las muestras en el campo, se pasó a la fase de laboratorio, donde se siguieron los siguientes procedimientos:

5.2.1. Procesado de las muestras

Una vez las muestras llegaron al laboratorio, se depositaron en bandejas para secar el suelo a temperatura ambiente. Se dejaron al aire casi una semana y posteriormente fueron pesadas (peso seco al aire) (Figura 8).

Seguidamente, las muestras fueron pasadas por un tamiz de 2 mm de diámetro, donde se retuvieron los elementos gruesos, se aislaron, se pesaron y finalmente se desecharon. El suelo ya tamizado por 2 mm Ø será el utilizado a lo largo de la determinación de todos los parámetros descritos a continuación.



Figura 8: Procesado de las muestras de suelo en el laboratorio de edafología

5.2.2. Determinación del factor de humedad

Para la determinación del factor de humedad, se pesaron aproximadamente 25 g de cada muestra de suelo ya tamizado, y se colocaron en cajas de aluminio, las cuales fueron introducidas en una estufa a 105°C, donde se eliminó la humedad que contenían al completo y la cual no pudo ser eliminada durante el secado al aire.

Pasadas 24 horas, se extrajeron las cajas de la estufa e inmediatamente, se dejaron enfriar en un desecador, para imposibilitar que adquirieran humedad ambiental. A continuación, se volvieron a pesar las muestras para obtener el peso de suelo seco a 105°C y poder calcular el factor de humedad.

El factor de humedad es un parámetro que se utiliza para poder realizar correcciones de los errores causados debido a la humedad del suelo a lo largo de la determinación de las diferentes variables edafológicas. Dicho parámetro se calcula dividiendo los 25 g que se pesaron aproximadamente de suelo secado al aire entre el peso de la misma muestra tras pasar 24 horas en la estufa a 105°C, siguiendo la siguiente fórmula:

$$F.H. = \frac{P_{ssa}}{P_{ss\ 105^{\circ}C}}$$

Donde:

- P_{ssa} = Peso del suelo seco al aire (25 gramos aproximadamente) (g)
- P_{ss 105°C} = Peso de la misma muestra secada a 105°C (g)
- F.H. = Factor de humedad

5.2.3. Determinación de la pedregosidad

Una vez obtenido el factor de humedad de cada muestra de suelo, éste se multiplicó por el valor del peso de la muestra entera pesada inicialmente tras ser secada al aire durante una semana, para corregir el error causado por la humedad. Este valor, nos daría la masa real del suelo completamente seco de todas las muestras.

Como los elementos gruesos también fueron pesados tras ser retenidos en el tamiz de 2 mm de \varnothing en la fase de procesado, se obtuvo el porcentaje de elementos gruesos, calculado de la siguiente forma:

$$\% \text{ el. gruesos} = \frac{Peg}{P_{ss\ 105^{\circ}C}} \times 100$$

Dónde:

- Peg = Peso de elementos gruesos (>2mm) (g)
- Pss 105°C = Peso de suelo seco al aire corregido con el factor de humedad ($P_{ssa} \times f.h$) (g)

5.2.4. Textura

La textura del suelo viene definida por las proporciones en peso de las partículas minerales que posee un suelo de acuerdo a su tamaño; la diferenciación de estas partículas viene definida por el tamaño de partícula, que, siguiendo el criterio de la USDA, se clasifican en:

- Arena (2,0-0,05 mm de diámetro)
- Limo (0,05-0,002 mm de diámetro)
- Arcilla (diámetro inferior a 0,002 mm).

A partir de la textura se pueden conocer propiedades como, la permeabilidad del suelo, la aireación, la capacidad de retener nutrientes y agua, ya que estas propiedades varían con la superficie específica que viene determinada en gran medida por el tamaño de las partículas del suelo.

Para la determinación de la textura se ha aplicado el método del densímetro de Bouyoucos, basado en la relación que existe entre la velocidad de deposición de las partículas del suelo y su tamaño (Figura 10). El procedimiento precisa de un primer ataque químico a la muestra y un posterior ataque físico.

Para realizar el ataque químico, se pesan 40 g de suelo seco al aire, se les añade 100 mL de una disolución dispersante a base de hexametáfosfato sódico y carbonato sódico, y se deja reposar durante 10 minutos. Posteriormente, se pasa al ataque físico, donde la disolución dispersante con el suelo se bate con una batidora mecánica durante 5 min.

Una vez transcurrido este tiempo, se traspasa la disolución a una probeta de 1L. La probeta se debe enrasar con agua del grifo. Para homogenizar la suspensión se agita la muestra con un embolo agitador y se toman medidas con un densímetro a los 30 segundos, 1 min, 3 min, 10min, 30min, 90min y más de 8h. A partir de las lecturas tomadas y aplicando los cálculos correspondientes se obtuvieron en la hoja de cálculo Excel los porcentajes de arena, arcilla y limo de cada muestra, y mediante el diagrama triangular de texturas del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (figura 9) se obtuvo la clase textural de cada suelo.

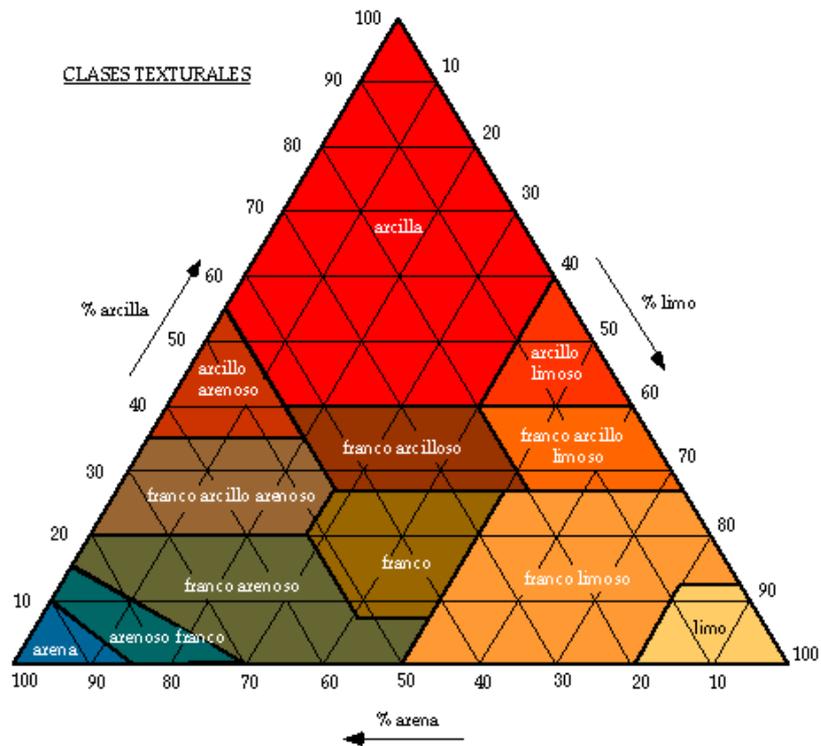


Figura 9: Diagrama triangular de las clases texturales del suelo del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).



Figura 10: Determinación de la textura mediante la prueba del densímetro de Bouyocous.

5.2.5. Carbonatos

La relevancia de los carbonatos reside en la mejora que producen en los suelos, ya que neutralizan la acidez, optimizan la estructura del suelo, promueven la formación de agregados y aumentan la resistencia a la erosión.

El contenido de carbonatos se determinó mediante el calcímetro de Bernard. El CO₂ que liberan el carbonato cálcico (CaCO₃) y magnésico (MgCO₃) al reaccionar con el ácido clorhídrico (HCl), desplaza la columna de la disolución saturada de CO₂ que contiene el calcímetro. De este modo, se puede conocer la cantidad de CO₂ liberado, calculando el volumen de líquido desplazado, y al mismo tiempo, la cantidad de CaCO₃ que ha reaccionado mediante la comparación con el volumen de CO₂ liberado por una cantidad conocida de CaCO₃ (lo que se conoce como “blanco”).

Se ha seguido el siguiente procedimiento:

Se introducen aproximadamente 0.5g de suelo en matraces Erlenmeyer, justo antes de la determinación se introduce un tubo de precipitados con aproximadamente 6 mL de ácido clorhídrico (HCl) sin que se derrame sobre el suelo; al tapar el Erlenmeyer con el calcímetro se realiza la primera lectura. Posteriormente, se agita el Erlenmeyer para que el HCl entre en contacto con la muestra de suelo y reaccione con los carbonatos del suelo, generando CO₂ como producto que desplaza la disolución del calcímetro. En el momento en que cesa el desplazamiento se registra la segunda lectura, ya que no se está produciendo más CO₂. Para la preparación del blanco se sigue el procedimiento descrito anteriormente, pero sustituyendo los 0.5g de suelo por 2g de CaCO₃ puro.

Posteriormente, se expresó el resultado en porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

$$\%CaCO_3 = \frac{L2 - L1}{L'1 - L'2} \times \frac{P_{CaCO_3}}{P_{ssa} \times f.h.}$$

Dónde:

- L1: Lectura del calcímetro antes de reacción del HCl con los carbonatos.
- L2: Lectura del calcímetro después de reaccionar el HCl con los carbonatos.
- P_{CaCO₃}: Peso del carbonato cálcico utilizado en el blanco.
- P_{ssa}: Peso del suelo utilizado en las determinaciones.
- f.h.: factor de humedad de la muestra
- L1': Lectura del calcímetro antes de disolver el carbonato cálcico, en el blanco.
- L2': Lectura del calcímetro después de disolver el carbonato cálcico, en el blanco.

5.2.6. pH

El pH del suelo condiciona en gran medida la asimilación de los nutrientes, la actividad microbiana y los procesos de transformación de materia orgánica del suelo. Muchas plantas no pueden crecer en suelos con bajos niveles de pH, debido a que necesitan determinados nutrientes que no podrían asimilar en dichos suelos.

El pH hace referencia a la concentración de iones H⁺ que se encuentran en la disolución del suelo y en las posiciones intercambiables del suelo.

El método de determinación del pH consiste en poner en contacto agua destilada con el suelo, de forma que ésta adquiere los iones libres del mismo. De este modo con un pH-metro de sobremesa y en un extracto acuoso 1:2,5 (suelo:agua) se puede medir el pH del suelo. El extracto se preparó con 10 g de suelo y 25 mL de agua destilada, y

se agita durante 10 minutos en unos “agitadores de brazo” antes de proceder a la medida en el pH-metro (Figura 11). Para tener más precisión en los resultados se llevaron a cabo dos repeticiones por cada muestra de suelo.



Figura 11: Lectura del pH mediante pH-metro

5.2.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es un parámetro edafológico estrechamente relacionado con la salinidad del suelo. Es por ello, que se puede obtener la salinidad del suelo gracias a dicho valor tal y como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de la salinidad del suelo según el valor de CE en el extracto de saturación y en el extracto 1:5

CE es (dS/m a 25°C)	CE 1:5 (dS/m a 25°C)	Clasificación
< 2	< 0,35	No salino
2-4	0,35-0,65	Ligeramente Salino
4-8	0,65-1,15	Salino
8-16	>1,15	Muy Salino
>16	> 16	Excesivamente Salino

Mediante el método de electrometría (Rodrigo, 2018), se puede obtener el valor de CE en un extracto acuoso 1:5 para cada una de las muestras. Es lo que se conoce como prueba previa de salinidad. Para ello, se reutilizarán las disoluciones empleadas en la lectura de pH, las cuales eran de 1:2,5. Simplemente se añadirán otros 25 mL de agua, para que haya un total de 50 mL de agua destilada y 10 gramos de suelo por cada muestra. Se agita el extracto durante 1 hora y tras reposo para decantación del material sólido, se procede a la medida en el conductímetro.

5.2.8. Materia orgánica

La descomposición de la materia orgánica (MO) es un proceso que ocurre gracias a los organismos que habitan en el suelo; estos descomponen los tejidos vegetales y animales generando, por una parte, nutrientes (materia inorgánica) y, por otra parte, materia orgánica estable que forma el compuesto llamado humus. La presencia de MO en el suelo favorece el intercambio catiónico, mejora la retención de

agua, hace que el suelo sea más resistente a la erosión y permite un buen desarrollo de la estructura del suelo.

Para la determinación de MO se utilizó el método de oxidación de Walkley-Black (1934) siguiendo el procedimiento descrito a continuación. Se pesaron 0.5 g de suelo tamizado por un tamiz de diámetro 500 μm en matraces Erlenmeyer. A continuación, se le aplicaron 10 mL de dicromato potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y 20 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Al entrar en contacto dichas sustancias, se produce una reacción exotérmica por lo que se debe dejar enfriar la muestra unos 30 minutos. Una vez que la muestra volvió a la temperatura ambiente, se incorporaron 50 mL de agua destilada, para poder observar mejor el cambio de color que se producirá en la valoración del dicromato sobrante (valoración por retroceso).

Para la valoración, se preparó una bureta de 50 mL, la cual incorporaba una llave que permitía la interrupción de la salida del fluido de la misma, con sulfato ferroso (FeSO_4), se añadieron 6 gotas del indicador ortofenantrolina a la muestra y usando un agitador magnético se fue suministrando FeSO_4 hasta que el color de la muestra cambiaba a color pardo grisáceo (figura 12). Es por ello, que cuanto más clara (anaranjada) sea la muestra, más FeSO_4 necesitará para reaccionar al haber sobrado mucho dicromato y, por lo tanto, tendrá un menor contenido de materia orgánica.

Además, también se preparó un blanco con 5, 10 y 10,7 mL de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 y agua destilada respectivamente, para calcular el factor de normalidad del FeSO_4 .

El cálculo del porcentaje de materia orgánica en cada suelo se realizó mediante las siguientes expresiones:

$$\% \text{ de } C \text{ orgánico oxidable} = \frac{(V_b - V_m) \times 0,5 \times f \times 0,003 \times 100 \times 1,3}{P_{ssa} \times f.h.}$$

Dónde:

- V_b : Volumen de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (mL)
- V_m : Volumen de FeSO_4 (mL)
- f : Factor de molalidad del FeSO_4
- P_{ssa} : Peso de suelo seco al aire (g)
- $f.h.$: Factor de humedad de la muestra

Una vez calculado el porcentaje de carbono orgánico oxidable, el de materia orgánica se obtiene utilizando la expresión:

$$\% M.O. = 2 \times \% C.orgánico oxidable$$



Figura 12: Comparación del color inicial de la muestra con el color resultante final tras la reacción de la misma con FeSO_4

5.2.9. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca^{2+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, o el pH potencial, entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (Food and Agriculture Organization, s.f.). Es por ello, que según el valor de C.I.C. de un suelo, se puede clasificar en varios tipos (Tabla 4).

Tabla 4: Clasificación del tipo de suelo según el valor de C.I.C. del mismo

C.I.C. Total (meq/100g)	Nivel	Valoración
0-10	Muy Bajo	Suelo muy pobre
10-20	Bajo	Suelo pobre
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio-Alto	Suelo rico
>45	Alto	Suelo muy rico

El método llevado a cabo para la determinación del C.I.C. sigue varias fases. En primer lugar, se provoca un desplazamiento de los cationes metálicos absorbidos sustituyéndolos por Na^+ mediante 4 lavados sucesivos de las muestras de suelo con una solución tampón de $\text{pH}=8,2$ de acetato sódico.

A continuación, se pretende desplazar el Na^+ absorbido y los iones en solución por 3 lavados más de nitrato magnésico 0,5 N. El líquido resultante de estos lavados contendrá la cantidad de Na^+ que desplazó los cationes metálicos cambiables y el Na^+ del líquido que el suelo tenía ocluido al finalizar el último lavado con la solución tamponada. Por último, se determinarán las concentraciones de Cl^- y Na^+ a partir del sobrenadante resultante del último lavado con nitrato magnésico 0,5 N.

Para determinar la concentración de Cl^- en la disolución recogida, se utilizó el aparato *MKI Chloride analyzer 926* (Figura 13). Sin embargo, la concentración de Na^+ se determinó por el método de fotometría de llama utilizando la recta de calibrado obtenida previamente, y en la que utilizaron patrones de Na^+ en el rango $0-25 \text{ mg L}^{-1}$. Sustituyendo

la señal que indicaba el fotómetro en cada lectura, en la recta de calibrado se determinaba la concentración final de Na^+ de cada muestra.



Figura 13: Lectura de los cloruros mediante el aparato MKI Chloride analyzer 926

Una vez obtenidas ambas concentraciones, en meq/L, se expresó la capacidad de intercambio catiónico mediante la siguiente fórmula:

$$C.I.C. = \left[[Na] - [Cl] \times \left(\frac{Na}{Cl} \right) sol \right] \times \frac{10}{psa \times f.h.}$$

Dónde:

- [Na]: Concentración de Na^+ de la muestra (meq/L)
- [Cl]: Concentración de Cl^- de la muestra (meq/L)
- Psa: Peso del suelo seco al aire
- F.h: Factor de humedad

5.2. Germinación de las semillas y capacidad de respuesta

Como se ha mencionado anteriormente, las semillas de la especie *Limonium irtaense* proceden del banco de semillas del C.I.E.F. de la Comunidad Valenciana.

Para llevar a cabo este ensayo, el cual nos permitirá comprobar la capacidad germinativa y de respuesta de las semillas, se aplicarán 5 tratamientos con niveles de salinidad diferentes indicados en la Tabla 5.

Tabla 5: Tipos de tratamiento en función de la concentración de salinidad aplicados durante los ensayos de germinación de las semillas de *Limonium irtaense*.

Tratamiento	Compuesto	Concentración
1 (Control)	Agua destilada	0 mM
2	NaCl	50 mM
3	NaCl	100 mM
4	NaCl	200 mM
5	NaCl	300 mM

La germinación se llevó a cabo en placas Petri estándar, con diámetro de 10 cm. El total de 500 semillas se repartió en 20 placas Petri, cada una con 25 semillas. Cada tratamiento incluye 4 repeticiones, es decir, se ha aplicado a cuatro placas Petri, resultando un total de 100 semillas para cada uno de los cinco tratamientos.

En primer lugar, se desinfectaron las semillas, y a continuación se introdujeron en las placas Petri sobre dos capas de papel de filtro, humectadas con aproximadamente 10 mL de cada disolución (en el caso del tratamiento 1, 10 mL de agua destilada). Para evitar la evaporación las placas se sellaron con Parafilm (Figura 14).



Figura 14: Preparación de las semillas para los ensayos de germinación.

Una vez cerradas, se introducen las placas en una cámara de germinación de la marca Equitec, configurada con una temperatura de día de 30°C durante 16 horas, y una temperatura de 20°C durante 8 horas de noche. La duración de los ensayos fue de 30 días, haciendo revisiones diarias, para contar el número de semillas germinadas, suponiendo una semilla germinada, con la aparición de la radícula con longitud de un milímetro.

Trascurridos dichos 15 días, las semillas que no han germinado y que se encuentran en buen estado pasarán a la fase de recuperación. Esta fase consiste en introducir las semillas en nuevas placas Petri, lavándolas antes con agua destilada con el fin eliminar

el exceso de salinidad y especificando la concentración a la que hayan estado expuestas previamente en las mismas condiciones de germinación (Figura 15).



Figura 15: Traspaso de las semillas de los tratamientos 3, 4 y 5 a nuevas placas Petri para evaluar la capacidad de recuperación.

Dichas placas, se situaron de nuevo en la cámara de germinación, en las mismas condiciones de temperatura y fotoperiodo, pero en este ensayo de recuperación de la capacidad germinativa todas las placas recibieron el mismo tratamiento, que consiste en el riego con agua destilada. En esta fase, solo existían semillas provenientes de los tratamientos iniciales de 100 mM, 200 mM, y 300 mM NaCl ya que las de control germinaron prácticamente en su totalidad en el ensayo previo.

5.3. Capacidad de supervivencia y crecimiento de las plantas

En este experimento realizado en el invernadero nº 8 de la ETSIAMN permite conocer la capacidad de supervivencia al trasplante y el crecimiento de las plantas bajo condiciones de salinidad. Se han utilizado todas las plántulas obtenidas durante los dos ensayos de germinación, tanto las de la primera prueba de germinación como las de la recuperación de la capacidad germinativa. Las plántulas se trasplantaron de la placa Petri a macetas individuales con tamaño de 5,5x6 cm etiquetadas con el nombre del tratamiento que se le aplicó en germinación y con el del tratamiento aplicado en esta fase (Figura 16). El sustrato de la maceta está compuesto por una mezcla de turba y vermiculita en proporción de 3:1.



*Figura 16: Trasplante de las plántulas de *Limonium irtaense* a maceta en invernadero.*

Entre el trasplante y el inicio de los tratamientos salinos se ha dejado pasar un tiempo de 2 meses, con la finalidad de que las plántulas puedan adquirir un tamaño considerable y se pueda proceder a la aplicación de los tratamientos a continuación explicados. Además, una vez pasado este tiempo, se realizará un recuento de las mismas, de forma que se podrá comprobar la capacidad de supervivencia al trasplante. Al inicio de los tratamientos de estrés las plantas presentaban el aspecto que se puede observar en la Figura 17. Los tratamientos se aplicaron en tres riegos semanales durante un mes.



*Figura 17: Desarrollo de los individuos de *Limonium irtaense* trasplantados en invernadero.*

Para ello, las plántulas estaban situadas en diferentes bandejas, de manera equitativa, pues se pretende aplicar el mismo tratamiento a todos los individuos de *L. irtaense* de una misma bandeja. En este caso, hay 3 tipos de tratamiento indicados en la Tabla 6.

Tabla 6: Tratamientos de salinidad aplicados en los ensayos de crecimiento de los individuos de *Limonium irtaense*, durante la fase de invernadero.

Tratamiento	Compuesto	Concentración
1 (Control)	Agua (H ₂ O)	0 mM
2	NaCl	300 mM
3	NaCl	600 mM

El proceso consiste en regar cada bandeja con 1,5L de la disolución salina correspondiente. Como disponíamos de 2 bandejas por tratamiento, a las cuales se les riega con un volumen de 1,5 L a cada una, se necesitaron un total de 2 garrafas de 3L cada una dónde se realizó la disolución de NaCl determinada. El primer tratamiento consiste únicamente en riego con la misma cantidad de agua de grifo.

Los cálculos realizados para determinar la cantidad de sal (Tabla 7) que se tiene que utilizar en cada tratamiento se han desarrollado de la siguiente forma

- Masa molar del NaCl = 58,44 g/mol
 - 58,44 g de NaCl diluidos en 1L de agua equivale a una disolución 1M
- Para una disolución de 1L y 300 mM (0,3 M) $\rightarrow 0,3M \times 58,44g = 17,53 \text{ g/L}$ de NaCl
 - Como se necesitan 3L de disolución 0,3M $\rightarrow 17,53 \text{ g} \times 3L = 52,6 \text{ g}$
- Para una disolución de 1L de 600 mM (0,6 M) $\rightarrow 0,6 \text{ M} \times 58,44L = 35,06 \text{ g}$
 - Como se necesitan 3L de disolución 0,6 M $\rightarrow 35,06 \text{ g} \times 3L = 105,2 \text{ g}$.

Tabla 7: Calculo de la cantidad de NaCl para preparar las soluciones salinas utilizadas en la evaluación del crecimiento de los individuos de *Limonium irtaense*.

Tratamiento	Masa molar del NaCl (g/mol)	Concentración NaCl	Masa requerida de NaCl para 1L	Masa requerida de NaCl para 3L
1 (Control)	-	-	-	-
2	58,44	0,3 M	17,53 g	52,6 g
3	58,44	0,6 M	35,06 g	105,2 g

Estudio de parámetros morfológicos

Después de un mes de tratamientos se ha efectuado el muestreo de todas las plantas para evaluar el efecto de los tratamientos con diferentes concentraciones de sal sobre el crecimiento de *L. irtaense*. En el laboratorio de botánica de la U.P.V. se han efectuado mediciones de parámetros de crecimiento, como el peso fresco radicular, el peso fresco de la parte aérea y el número de hojas verdes y secas. En la Figura 18 se pueden observar las raíces (A) y la roseta foliar o la parte aérea (B) de los individuos de *L. irtaense* derivados del tratamiento 1' de germinación (100 mM NaCl y posterior capacidad de recuperación con agua destilada) y sometidos al tratamiento 3 (600 mM NaCl) durante los ensayos de crecimiento.



(A)



(B)

Figura 18: Preparación del material vegetal, tanto parte radical (A) como aérea (B), para la medición de los diferentes parámetros morfológicos y biológicos.

5.4. Tratamiento estadístico de los datos

Los datos se analizaron mediante el programa MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007 y IBM SPSS STATISTICS v.16.

Para analizar el éxito de la germinación de las semillas producidas por las plantas cultivadas en diferentes condiciones de salinidad se calcularon los porcentajes diarios y finales de la germinación en cada tratamiento ($n = 4$) y el tiempo medio de germinación (MGT, mean germination time) según la fórmula de Ellis & Roberts (1981):

$$MGT = \frac{\sum(n \times d)}{N}$$

Dónde:

- n = número de semillas germinadas cada día
- d = número de días transcurridos desde el inicio del ensayo
- N = número total de semillas germinadas al finalizar el experimento.

Para testar el efecto de la salinidad sobre el crecimiento de las plantas en invernadero con diferentes orígenes se utilizó un ANOVA de dos factores, seguidas de un análisis post-hoc Tukey a un nivel de confianza de 95%.

6. RESULTADOS

6.1. Estudio del entorno y parámetros edafológicos

6.1.1. Pedregosidad

La pedregosidad total del suelo de cada población se obtuvo mediante la media del porcentaje de elementos gruesos de las muestras de la misma población. En la Tabla 8 se muestran dichos valores para cada población.

Tabla 8: Pedregosidad expresada en porcentajes de las muestras de suelo de las diferentes poblaciones de Limonium irtaense.

	Pedregosidad (%)
Población 1 y 3	45,3
Población 2	47,0
Núcleo 1	38,8
Población 4	36,3
Población 5	38,0

Como se puede observar, la población 2 es la de mayor pedregosidad, con un 47% de elementos gruesos, mientras que la población 4 corresponde con la de menor pedregosidad, con un 36,25%. En general se puede afirmar que se trata de suelos pedregosos, con imitado espesor de suelo.

6.1.2. Textura

A partir de los datos obtenidos del densímetro, se pudo calcular el porcentaje de Arena, Limo y Arcilla, y determinar la clase textural de cada muestra (Tabla 9).

Tabla 9: Porcentajes de los tres diferentes tipos de partículas (arena, limo y arcilla) en el suelo de cada población, así como la clase textural de cada una de ellas.

Población	% Arena	%Limo	%Arcilla	Clase textural
1	83,3	12,2	4,5	Areno franca
2	35,2	42,3	22,5	Franca
3	67,5	22,4	10,1	Franco Arenosa
4	37,4	39,3	23,3	Franca
5	34	36,8	29,2	Franco arcillosa
N1	72,6	17,4	10	Franco arenosa

En general los suelos son de textura franca con diferentes porcentajes de arena y arcilla según la zona, lo que hace que la clase textural cambie a franco arenosa o franco-arcillosa según dichos porcentajes. Los más arenosos pertenecen a los de la población 1, la 3 y al núcleo 1, con porcentajes de arena entre el 68-83%, mientras que los de las demás zonas se encuentran en torno al 35% de arena. Esto es muy probable que se deba a la ubicación de las mismas, ya que éstas se encontraban más cercanas a la línea de costa que el resto de poblaciones, las cuales se hallaban unos metros más atrás de la orilla, entre otras especies vegetales, como pinos o lentiscos.

6.1.3. Carbonatos

En la Tabla 10 se muestra el contenido de carbonatos del suelo en los diferentes puntos de muestreo. Los valores oscilan entre 34-75%, excepto para uno de los puntos donde el valor fue muy bajo (4%). De acuerdo con la escala de interpretación de Yanez (en Saña et al, 1996), se pueden calificar estos contenidos como altos y muy altos. En este trabajo no se ha determinado la caliza activa, pero sería conveniente su determinación para evaluar de forma más precisa la fertilidad del suelo.

Tabla 10: Contenido de carbonatos (%) en las muestras de suelo de cada población.

Población	% CaCO ₃
1 y 3	59,9
2	51,6
3	69,7
4	37,1
5	34,7
N1	67,1

6.1.4. pH

Tras las lecturas realizadas con el pH-metro, se calcularon los datos promedios de pH para el suelo de cada población. En la Tabla 11 se muestran los valores medios de los suelos muestreados en cada una de las poblaciones.

Tabla 11: Valores medios de pH del suelo de las diferentes poblaciones de *Limonium irtaense*.

	pH
Población 1 y 3	8,8
Población 2	8,5
Población 4	8,3
Población 5	8,3
Núcleo 1	8,6

Como se puede observar, los datos de pH en las diferentes poblaciones son bastante similares, con un valor medio en torno al 8,5 y con un rango de valores entre moderadamente básico y ligeramente alcalino. Sin embargo, la población 1 junto a la 3 (se consideran la misma para esta prueba debido a la proximidad de éstas en el espacio) es la que tiene un pH más básico. Los valores obtenidos están en consonancia con los elevados porcentajes de carbonatos medidos en estos suelos.

Este ligero aumento de la alcalinidad conduce a algunos nutrientes a estar disponibles, algo que es idóneo para las plantas, pero puede plantear problemas de asimilabilidad para algunos micronutrientes como hierro y manganeso.

6.1.5. Conductividad eléctrica

Los resultados de conductividad eléctrica han permitido estimar la salinidad del suelo de cada población de *Limonium irtaense* (Tabla 12). Los valores de prueba previa de salinidad (extracto 1:5) oscilan entre 1,4 y 10,1 dS/m, lo que clasifica a estos suelos como muy salinos. Sería recomendable, dados los valores altos en la prueba previa, determinar en un futuro la conductividad del extracto de saturación, para tener un valor más preciso de la salinidad del suelo.

Tabla 12: Datos de la conductividad eléctrica para el extracto 1:5 del suelo de cada una de las poblaciones, con la clasificación en función de la salinidad.

	CE 1:5 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CE 1:5 (dS/m)	Clasificación
Población 1 y 3	3248	3,25	Muy Salino
Población 2	1716	1,72	Muy Salino
Población 4	1424	1,42	Muy Salino
Población 5	10126	10,131	Muy Salino
Núcleo 1	2648	2,65	Muy Salino

6.1.6. Materia orgánica

Tras realizar los procedimientos requeridos, se obtuvieron los siguientes valores de Materia orgánica:

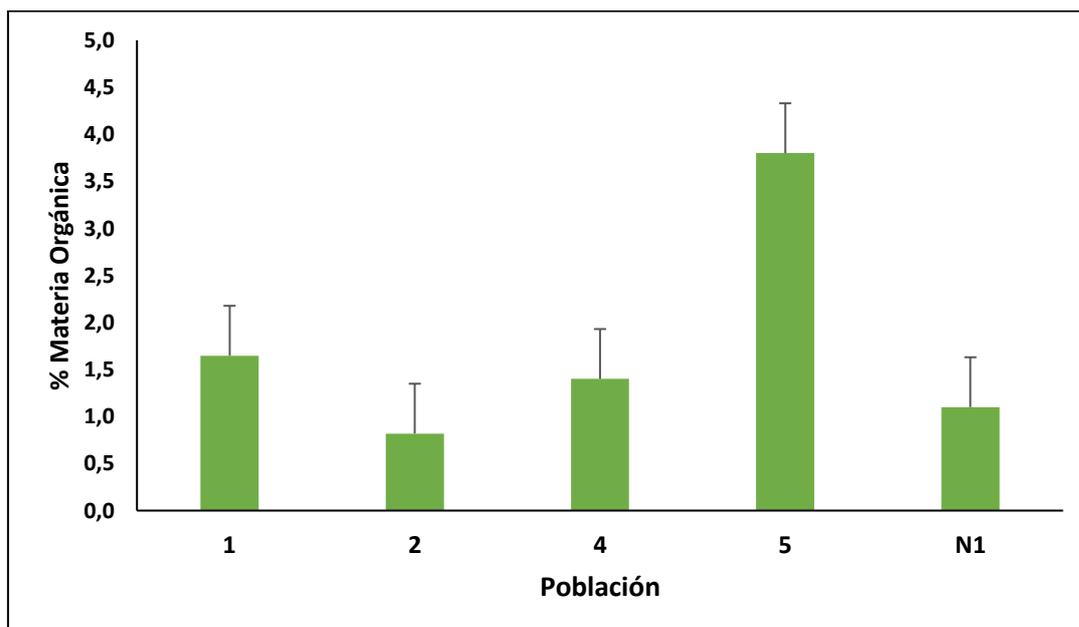


Figura 19: Cantidad de materia orgánica presente en el suelo de las poblaciones de *Limonium irtaense*, expresada en porcentaje.

Claramente se puede observar que la población nº5 es la que contiene una mayor cantidad de materia orgánica. Este factor, se puede relacionar con el estado de las especies vegetales, pues el día de la visita al parque natural se pudo notar que las especies de *L.irtaense* de dicha población presentaban un aspecto más vigoroso, además, de mayor biomasa aérea y, seguramente, radicular, lo que explicaría el mayor contenido de materia orgánica en esta zona. El resto de las zonas presentan valores bajos, correspondientes a suelos pobres o muy pobres en materia orgánica.

6.1.7. Capacidad de intercambio catiónico

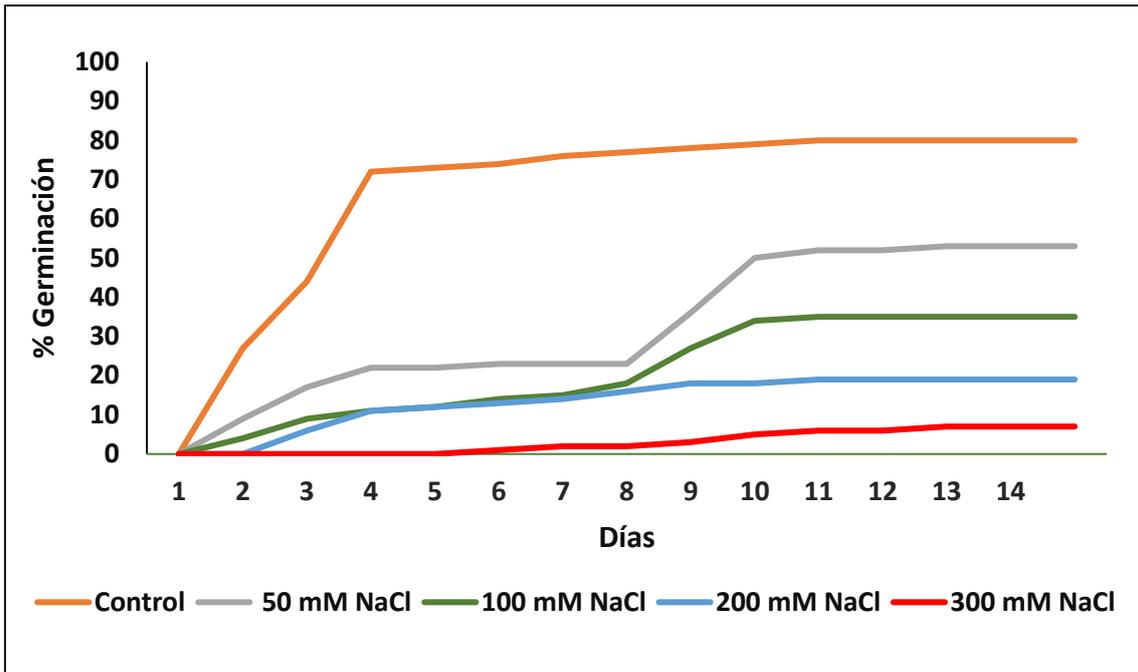
En la Tabla 13 se muestran los valores de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) media de cada zona. El valor más alto corresponde a la zona 5, lo cual se podría explicar por el mayor contenido de materia orgánica y arcilla que presenta el suelo de esta zona, ya que son estos dos componentes los que contribuyen en gran medida a la CIC del suelo. Esta zona, junto con la dos y cuatro, se catalogaría como media o normal respecto de esta propiedad, mientras que los de la zona 1, 3 y N1 tendrían una CIC débil o muy débil, lo que limitaría en gran medida la fertilidad de estas zonas.

Tabla 13: Valores medios de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) expresados en cmolc/kg en los suelos de cada población.

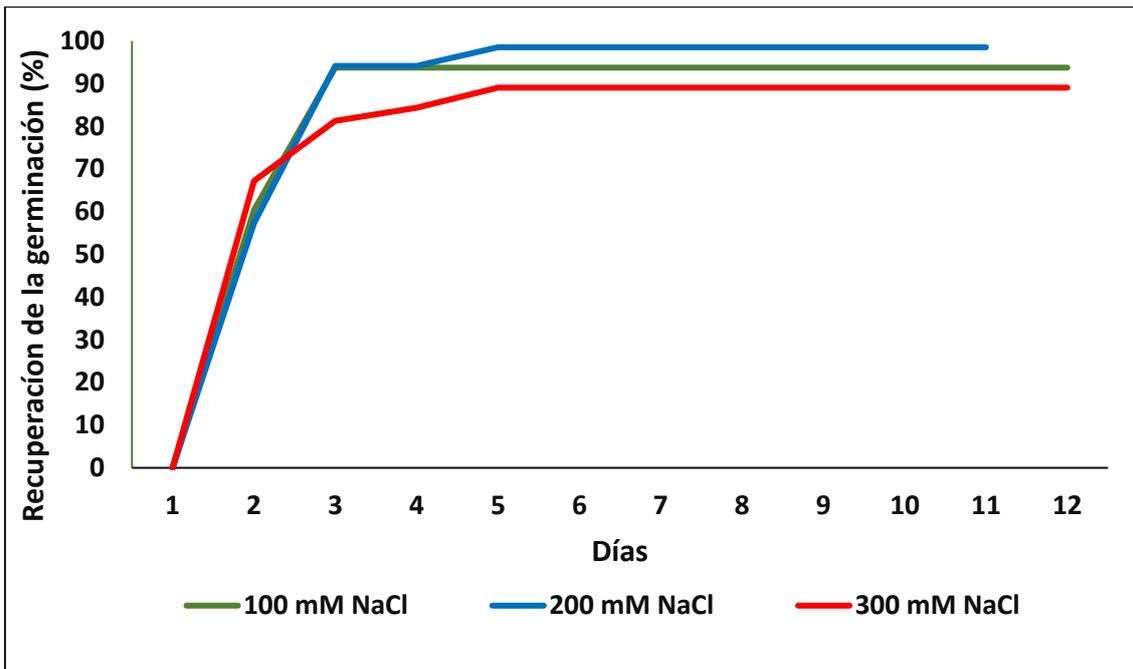
Población	CIC (cmolc/kg)
1	5.91
3	9.30
2	13.75
4	16.12
5	20.32
N1	9.62

6.2. Germinación de las semillas y capacidad de recuperación

Los resultados del ensayo de germinación en diferentes concentraciones de sal de las semillas de *L. irtaense* proporcionadas por el CIEF pueden verse en la Figura 20. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo en el tratamiento 1, que representa el control sin sal. A medida que aumenta la concentración de sal, este porcentaje se reduce, siendo el número de semillas germinadas en el tratamiento 5 (300 mM NaCl) el más bajo (Figura 20A). Un patrón similar de germinación con valores más altos en ausencia de sal se ha obtenido en varias especies de *Limonium* de saladares valencianos, como *L. caesium* (Girard) Kuntze, *L. cossonianum*, *L. mansanetianum*, *L. delicatulum*, *L. supinum* (Girard) Pignatti y *L. tobarrense* J. Moreno *et al.* (Fos *et al.*, 2020; Moreno *et al.*, 2022), aunque también existen especies de este género con un porcentaje mayor de germinación en presencia de bajas concentraciones de NaCl (50 y 100 mM) que en los tratamientos control (Al Hassan *et al.*, 2017). Aunque algunas especies son muy tolerantes a la salinidad y pueden mantener su capacidad germinativa hasta 500 mM de NaCl, como *L. stocksii*, una especie de la zona desértica subtropical de Pakistán cuyas semillas germinaron en un 60% en presencia de 300 mM de NaCl (Zia & Khan, 2004), el límite de germinación en las especies de este género se sitúa generalmente en torno a la concentración de 200 mM de NaCl (González-Orenga *et al.*, 2021).



(A)



(B)

Figura 20: Porcentaje de las semillas germinadas a lo largo de los 14 días de tratamiento durante los ensayos de germinación en presencia de diferentes concentraciones de NaCl (A) y durante los ensayos de la capacidad de recuperación (B).

El análisis de varianza ANOVA de un factor indica diferencias significativas entre todos los tratamientos, con valores máximos de 8 % en el tratamiento de control, 53% en el de 50 mM NaCl, 35% en el de 100 mM NaCl, 19 % en el de 200 mM NaCl y una drástica reducción a un valor medio de 7 % en el tratamiento de 300 mM NaCl (Figura 21).

En cuanto a la capacidad de recuperación de la germinación, se ha observado que es muy elevada en los individuos de esta especie, con valores más altos que en el tratamiento de control inicial (Figura 21). La habilidad de mantener la viabilidad de las semillas e incluso de potenciar su capacidad de germinación es una característica general de las plantas halófitas, relacionada con las variaciones de la salinidad en sus hábitats. Las semillas de muchas halófitas pueden soportar una exposición prolongada a condiciones muy salinas del suelo y su germinación se produce cuando la salinidad está mitigada por un periodo de lluvias, que reduce la salinidad de las capas superficiales del suelo. Para las especies de zonas salinas, que pueden experimentar variaciones en la humedad y salinidad del suelo a lo largo del año, la latencia de las semillas se reconoce como un componente crucial de su ecofisiología (Keiffer & Ungar, 1997). Por ejemplo, una investigación sobre la recuperación de la capacidad germinativa de cuatro halófitas del sureste de España reveló que la germinación se produce cuando las precipitaciones intermitentes eliminan momentáneamente parte del contenido salino del suelo (Pujol *et al.*, 2000).

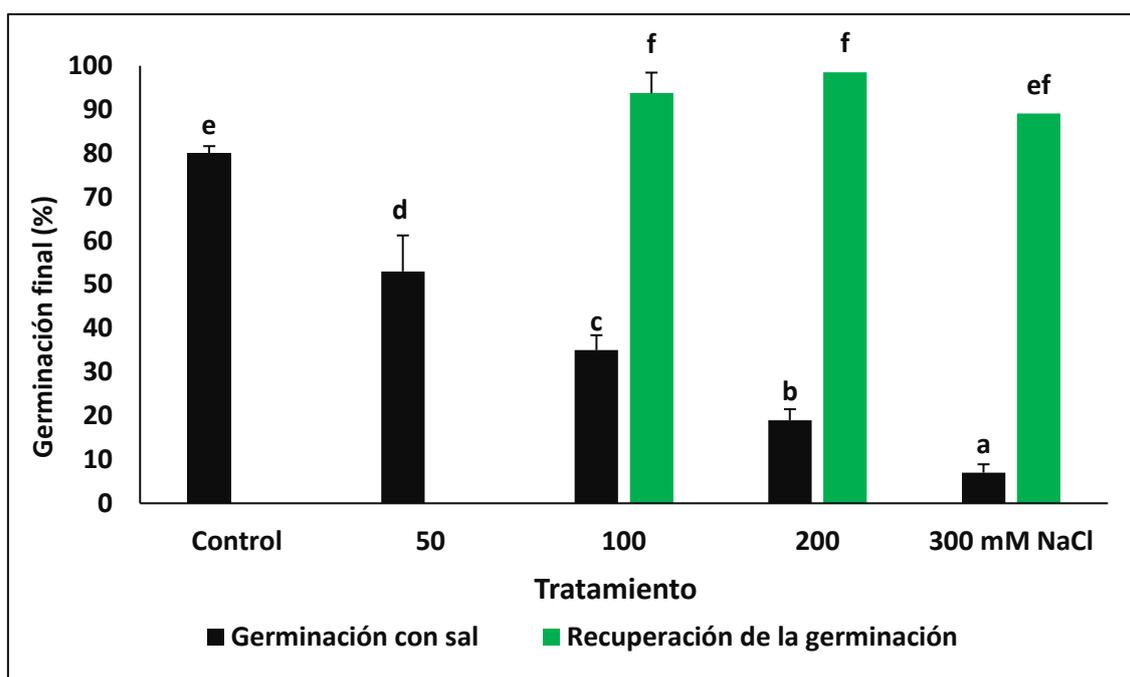


Figura 21: Porcentaje de la germinación final de los tratamientos con salinidad y de la germinación final para los ensayos de la capacidad de recuperación. Las barras de error representan los valores medios \pm SE, siendo (N=4). Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey a un nivel de confianza de 95%.

En esta fase del trabajo se analizó también el tiempo medio de germinación (MGT) de las semillas de cada tratamiento, cuyos resultados se muestran en la Figura 22. Como se puede observar, el tiempo medio de germinación está estrechamente

relacionado con el porcentaje de germinación. El tratamiento 1, que tiene el porcentaje de germinación más alto, corresponde a un tiempo medio de germinación de 3,5 días, siendo el más corto de los cinco tratamientos. Lo mismo ocurre con el tratamiento 3, que ha obtenido el porcentaje de germinación más bajo y el tiempo medio de germinación más elevado. En cuanto a la velocidad de germinación de las semillas en el ensayo de recuperación de la germinación, los valores calculados son los más bajos, aunque no hay diferencias significativas con el tratamiento de control inicial. Este dato indica el efecto positivo de una exposición a concentraciones salinas previa a la fase de germinación denominado “halopriming” y característico no solo de halófitas, sino también empleado para incrementar la tolerancia a la salinidad de varios cultivos (Hmissi *et al.*, 2023).

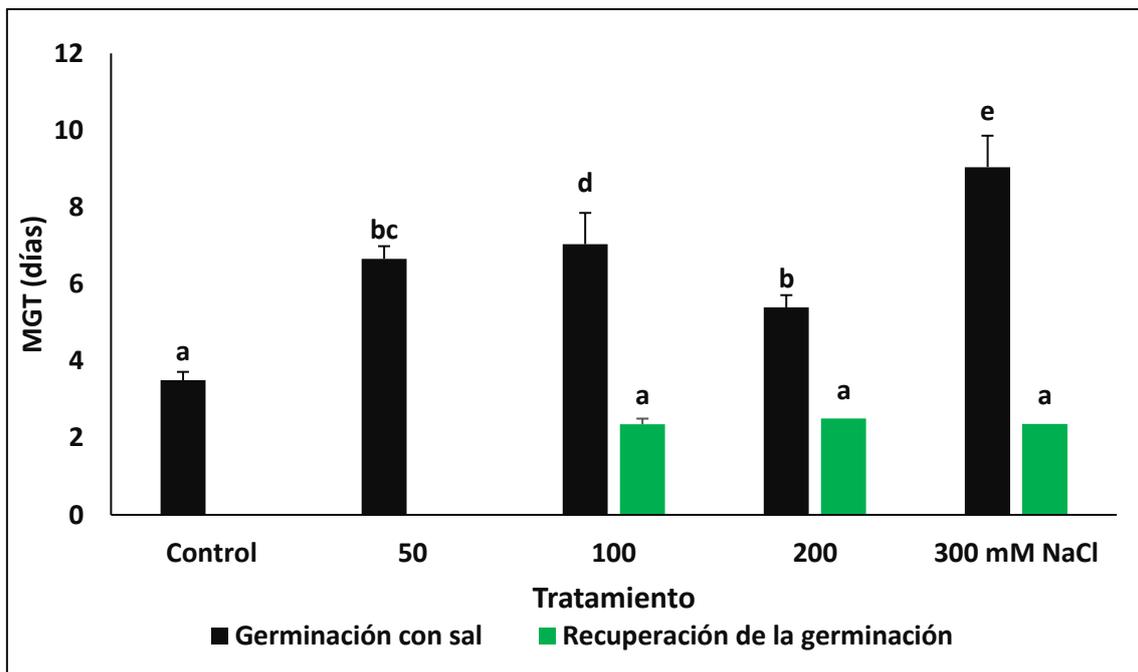


Figura 22: Tiempo medio de germinación para los tratamientos de germinación con sal y los ensayos de la capacidad de recuperación. Las barras de error representan los valores medios \pm SE (N=4). Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según el test de Tukey a un nivel de confianza de 95%.

6.3. Capacidad de supervivencia y crecimiento de las plantas

Como se ha explicado en el *Capítulo 5 (Material y Métodos)*, la primera fase de este proceso consiste en un recuento de las plantas que han sobrevivido al trasplante, y de esta manera, analizar su capacidad de supervivencia una vez finalizados los ensayos de germinación. En la Tabla 14 se indica tanto el número de las semillas que germinaron en cada tratamiento, cómo el número de plántulas que sobrevivieron al mes del trasplante a macetas individuales en invernadero.

*Tabla 14: Capacidad de supervivencia de los individuos de *Limonium irtaense* tras ser trasplantados de las placas Petri a las macetas en invernadero, para proceder con los estudios de crecimiento de los mismos.*

Tratamiento aplicado inicialmente	Nº de individuos trasplantados	Nº de individuos que han sobrevivido al trasplante	Porcentaje de supervivencia
1 (Control)	80	9	11,3 %
2 (50 Mm)	53	32	60,4%
3 (100 Mm)	35	17	48,6%
1' (100 mM en c. de respuesta)	45	35	77,8%
2' (200 mM en c. de respuesta)	67	49	73,1%
3' (300 mM en c. de respuesta)	56	41	73,2%

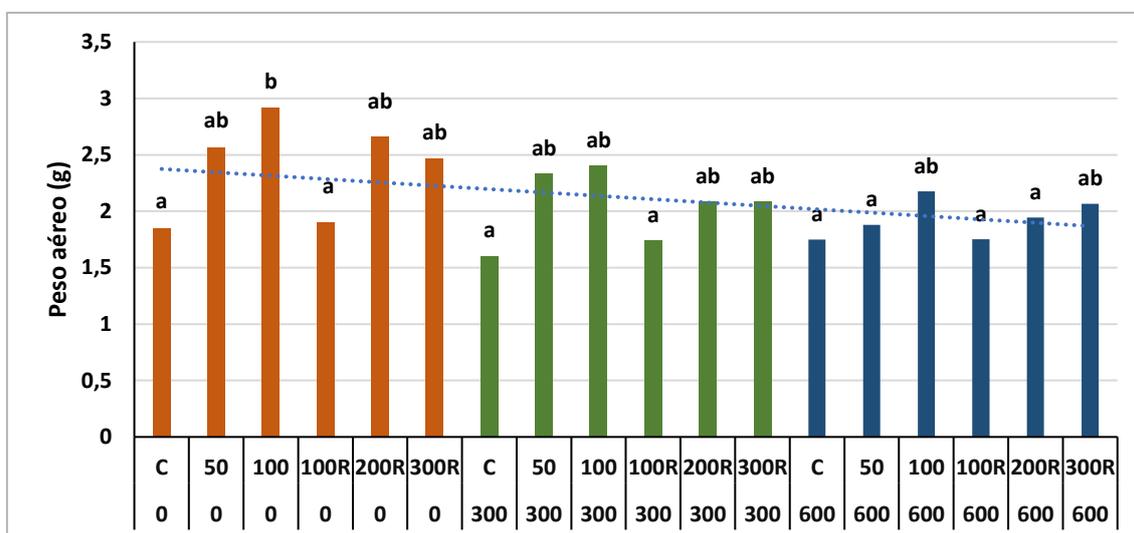
La capacidad de supervivencia de las plántulas que fueron sometidas al tratamiento de control en los ensayos de germinación, es muy escasa. Sin embargo, las que habían sido sometidas a concentraciones de salinidad más altas, presentan una mayor supervivencia al ser trasplantadas en macetas, con porcentajes en torno al 75%.

Estudio de los parámetros morfológicos

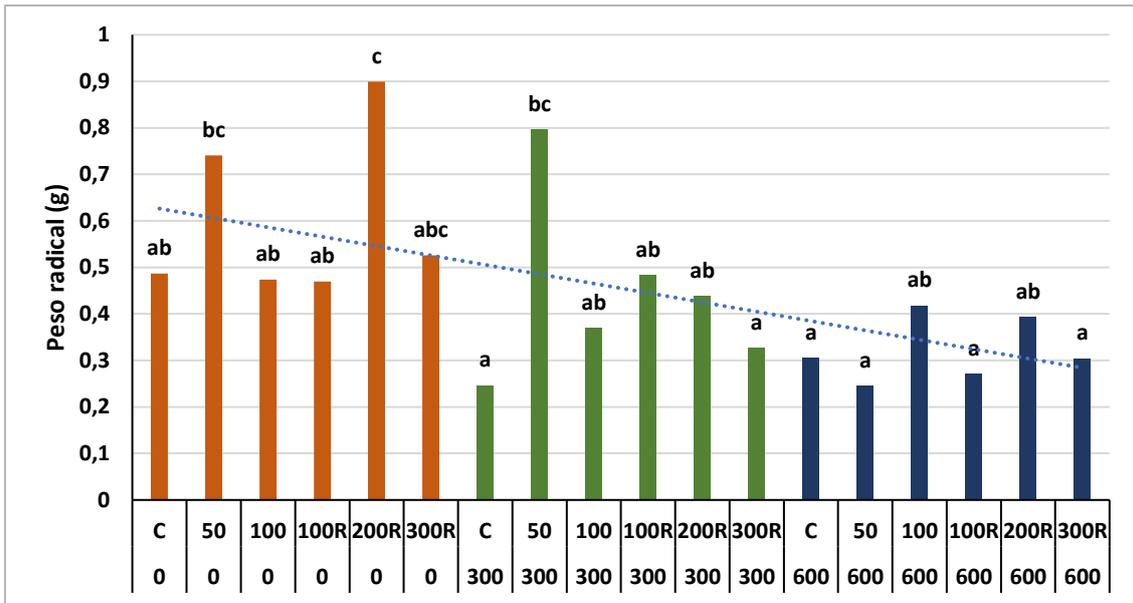
Al finalizar los tratamientos de riego con soluciones salinas en el invernadero a los 30 días desde el inicio, se muestrearon todas las plantas y se midieron diferentes parámetros morfológicos. El ANOVA de dos factores indica que la concentración de NaCl en la solución de irrigación tiene un efecto significativo en todos los parámetros analizados, pero la concentración de sal en los ensayos de germinación (origen de las semillas) afecta de forma significativa solamente el peso fresco de la parte aérea y de las raíces (Tabla 15).

Tabla 15: ANOVA de dos factores considerando el tratamiento salino en el ensayo de crecimiento en invernadero (Factor A) y el origen de las semillas (Factor B) y su interacción (A x B). Los valores indicados representan la p (*, **, *** de $p < 0.05$, $p < 0.01$, y $p < 0.001$).

Parámetro	Factor A (Tratamiento)	Factor B (Origen)	A x B (Interacción)
Peso fresco de la parte aérea	0,000***	0,001**	0,684
Peso fresco de las raíces	0,000***	0,846	0,184
No de hojas verdes	0,023**	0,251	0,940
No de hojas secas	0,03***	0,001**	0,001*



(A)



(B)

Figura 23: Peso expresado en gramos de la parte aérea y radical de los individuos de *Limonium irtaense* en función de los tratamientos de origen, indicados en la parte superior del eje de abscisas, y de los tratamientos realizados durante la fase de crecimiento. La recta representada en la parte superior corresponde con la línea de tendencia. Las letras describen las diferencias estadísticas que existen entre las muestras.

Las líneas de tendencia muestran que realmente los tratamientos sí que han influido en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que ésta es descendente, especialmente en el caso de las raíces. Esta observación se explica por el hecho de que la salinidad es una condición que afecta a los sustratos, donde reside la zona radicular de la planta.

Sin embargo, también se puede corroborar, gracias a la estadística empleada, que el tratamiento que se le aplicó a cada uno de los individuos durante la fase de germinación ha influido en el posterior crecimiento, siendo los individuos del tratamiento de control en germinación los que se han visto más afectados en términos de desarrollo.

Cabe destacar que durante el muestreo de los individuos que fueron sometidos al tratamiento de control, se observó el enrojecimiento de algunas hojas (Figura 24), mientras que las plantas regadas con soluciones salinas no presentaban esta coloración foliar (Figura 25). Este síntoma es típico de plantas que se encuentran estresadas. Es por ello, que en este caso podemos relacionar la ausencia de sal durante el desarrollo de las mimas como un factor de estrés.



Figura 24: Enrojecimiento de las hojas tras la aplicación del tratamiento de Control en uno de los individuos de *Limonium irtaense*.



Figura 25: Aspecto físico de la parte aérea tras la aplicación del tratamiento de salinidad 600 mM en uno de los individuos de *Limonium irtaense*.

7. CONCLUSIONES

1. Los parámetros edafológicos analizados responden a los de una zona típica costera y rocosa. El suelo se presenta muy salino, especialmente en la población nº5, además de tener un alto porcentaje de pedregosidad. Estos resultados indican el alto nivel de tolerancia factores de estrés ambiental de la especie *L. iratense*.
2. Durante los ensayos de germinación, se comprobó que la salinidad reduce considerablemente el porcentaje de germinación de las semillas, e igualmente aumenta el tiempo medio de germinación de las mismas. Sin embargo, las que fueron sometidas originalmente a los tratamientos de mayor salinidad son las que muestran una mayor capacidad de recuperación, y una reducción considerable del tiempo medio de germinación en esta etapa, así como una mayor supervivencia tras el trasplante a semilleros.
3. La salinidad ha afectado ligeramente a los parámetros vegetativos durante los ensayos en la fase de invernadero. Los individuos sometidos al tratamiento de 600 mM de NaCl son aquellos que generalmente presentan un menor desarrollo, especialmente en el peso de la zona radicular.
4. Sin embargo, el tratamiento original aplicado a cada individuo durante los ensayos de germinación también influye en su crecimiento en la fase de invernadero. Independientemente de la concentración salina aplicada en los riegos de esta fase, los individuos que fueron sometidos al tratamiento de control en los ensayos de germinación muestran un menor desarrollo en los parámetros vegetativos.
5. Este estudio ha permitido comprobar la tolerancia de *Limonium irtaense* a la salinidad, característica que con el cambio climático afectará progresivamente a los suelos del territorio valenciano. También permite tomar conciencia del interés de las especies halófitas en los ecosistemas terrestres, así como de la importancia de su conservación, ya que en un futuro podrían ser especies que podrían jugar un valioso papel en tareas de repoblación.
6. Todos los datos obtenidos son útiles para la producción de planta en vivero.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Al Hassan, M., Estrelles, E., Soriano, P., López-Gresa, M.P., Bellés, J.M., Boscaiu, M., Vicente, O. (2017). Unraveling salt tolerance mechanisms in halophytes: A comparative study on four Mediterranean *Limonium* species with different geographic distribution patterns. *Front Plant. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01438>.
- Conselleria d'Agricultura, Ramaderia i Pesca - Generalitat Valenciana. (s.f.). *Portal Agrari*. <<https://portalagrari.gva.es/es/pesca/reservas-marinas>> [Consulta: 07 de Junio de 2024].
- Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Infraestructures i Territori - Generalitat Valenciana. (s.f.). *Parques Naturales de la Generalitat Valenciana*. <<https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-serra-d-irta>>[Consulta: 05 de Mayo de 2024].
- Erben, M. (1993). *Limonium* Mill. In S. Castroviejo (coord. edit.). Flora Iberica (Vol. 3, pp. 2–143). Madrid: Real Jardín Botánico-CSIC.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Sci. Technol.* 9, 373-409.
- Ferrer-Gallego, P.P., Ferrando-Pardo, I., Laguna, E., J. Albert, F., Pereira, M., Viciano, L., Pellicer, A., Carchano, R., Visera, C., Pérez-Botella, J., Navarro, A., Pérez-Rovira, P., Jiménez, J. (2019). Planes de recuperación de flora amenazada de la Comunidad Valenciana. Resultados tras tres años de la aprobación de la normativa legal. *Flora Montiberica* 73, 48-61.
- Flora Silvestre Mediterránea. (s.f.). *Género Limonium (Plumbaginaceae)*. <<https://www.florasilvestre.es/mediterranea/Plumbaginaceae/Limonium.htm>> [Consulta: Junio de 09 de 2024].
- Food and Agriculture Organization. (s.f.). *Portal de suelos de la FAO*. <<https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/#:~:text=La%20Capacidad%20de%20Intercambio%20Cati%C3%B3nico,K%2C%20NH4%20etc>> [Consulta: 15 de Junio de 2024].
- Fos, M., Alfonso, L., Ferrer-Gallego, P.P., Laguna, E. (2020). Effect of salinity, temperature and hypersaline conditions on the seed germination in *Limonium mansanetianum* an endemic and threatened Mediterranean species. *Plant Biosyst.* 155, 1-13. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1722276>.
- Flowers, T.J., Colmer, T. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.* 179(4), 945-963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>.
- Fuchs, L. (2019). Verduras de costa, de litoral o del desierto: qué son las plantas halófilas y por qué cada vez más cocineros se rinden a ellas. *Directo Paladar*, 1.
- Grigore, M. N., Villanueva, M., Boscaiu, M., Vicente, O. (2012). Do halophytes really require salts for their growth and development?. *Not. Sci. Biol.* 4(2), 23-29. <https://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/7606/8406>.

- Grupo Vaersa. (2 de Abril de 2024). Plantación del endemismo *Limonium irtaense* en Vinaròs. *Grupo Vaersa*, pág. 1.
- Hmissi, M., Krouma, A., García-Sánchez, F., Chaieb, M. (2023). Potential of seed halopriming in the mitigation of salinity stress during germination and seedling establishment in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plants* 13(1), 66. doi: 10.3390/plants13010066.
- Institut Cartogràfic Valencià -Generalitat Valenciana. (s.f.). *Visor Cartogràfic* <<https://visor.gva.es/visor/>> [Consulta: 16 de Mayo de 2024].
- Keiffer, C.H., Ungar, I. A. (1997). The effect of extended exposure to hypersaline conditions on the germination of five inland halophyte species. *Am. J. Bot.* 84, 104-111.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (s.f.). *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío*. <<https://servicio.mapa.gob.es/websiar/>> [Consulta: 02 de Julio de 2024].
- Moreno, J., Terrones, A., Juan, A. (2022). Germination patterns along a salinity gradient of closely-related halophytes in sympatry. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 264, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107690>.
- Naturaleza, Etnobotánica y Desarrollo. (s.f.). *Flora Sierra de irta*. <<https://naturalezaversusdesarrollo.blogspot.com/p/flora-sierra-de-irta.html>> [Consulta: 10 de Junio de 2024].
- Navarro, A., Lumbreras, E.L., Rovira, P.P., Ferrer-Gallego, P.P., Ferrando-Pardo, I., & Llana, F. J. A. (2020). Conservació de l'endemisme vegetal de la serra d'Irta (Castelló) *Limonium irtaense*. *Nemus: Revista de L'Ateneu de Natura*, 10, 155-163. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7892014.pdfv>.
- Pujol, J.A., Calvo, J.F., Ramírez-Díaz, L. (2000). Recovery of germination from different osmotic conditions by four halophytes from southern Spain. *Ann. Bot.* 85, 279-286.
- Rodrigo, M. C. (2018). *Caracterización edáfica de diferentes elementos de infraestructura verde en el distrito de Benicalap* Proyecto Final de Carrera. Valencia: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural, 18.
- Sáez, L., Rosselló, R. (s.f.). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España* -*Limonium* Perplexum <https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/1025_tcm30-99395.pdf> [Consulta: 17 de junio de 2024].
- Saña, J., More, J.C., Cohí, A. (1996). La gestión de la fertilidad del suelo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica, Madrid Alimentación. Secretaría General Técnica, Madrid.
- Sánchez, J.A. (2021). Hydrodynamics of the coastal springs of the Sierra de Irta after torrential precipitation events. Maestrazgo Aquifer (Castellón). *Boletín Geológico y Minero*, 14.

- Vinaròs News. (11 de Novembre de 2020). Alumnos y profesores del IES Serra d'Irta apuestan por la conservación del *Limonium irtaense*. *Vinaròs News*, pág. 1.
- Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.
- Zia, S., Khan, M.A. (2008). Seed germination of *Limonium stocksii* under saline conditions. *Pak. J. Bot.* 40(2), 683-695.