



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

Evaluación de la tolerancia al estrés salino en poblaciones  
valencianas de la especie autóctona *Saccharum ravennae*  
y la invasora *Cortaderia selloana* (Poaceae)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Montes

AUTOR/A: Manzanera Adell, Andreu

Tutor/a: Boscaiu Neagu, Mónica Tereza

Cotutor/a: Llinares Palacios, Josep Vicent

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## Resumen

### **Evaluación de la tolerancia al estrés salino en poblaciones valencianas de la especie autóctona *Saccharum ravennae* y la invasora *Cortaderia selloana* (Poaceae)**

La principal causa de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial es la alteración de los hábitats naturales, seguido por las invasiones biológicas. Esta tendencia de incremento de especies invasoras afecta también la Comunitat Valenciana. La especie *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn. se ha convertido en un problema de emergencia ecológica en numerosas regiones del mundo, incluyendo la Península Ibérica. En el territorio valenciano esta especie comparte hábitat con la especie autóctona *Saccharum ravennae* (L.) L. en diferentes puntos de la geografía. Los suelos donde se desarrollan estas gramíneas ya presentan una salinidad natural, la cual puede incrementar debido al cambio en los patrones de las precipitaciones que está sucediendo en la Comunitat Valenciana provocados por el cambio climático.

Mediante el estudio de la germinación de semillas muestreadas en poblaciones de las dos especies en la provincia de València, concretamente en Cullera y en Gandía, el análisis de las condiciones climáticas y edáficas, y el análisis de diferentes compuestos bioquímicos presentes en material vegetal recolectado en las zonas de estudio, se han comparado las respuestas de estas especies en condiciones artificiales de estrés salino y en sus entornos naturales. Los resultados obtenidos revelan que la especie *C. selloana* es mucho más competitiva y resistente en condiciones de estrés salino que la especie *E. ravennae*, lo que puede llevar al desplazamiento e incluso desaparición de la especie nativa y otras propias de los espacios estudiados por la acción de la especie invasora. Este hecho podría derivar en un desequilibrio del ecosistema natural que encontramos en ambos marjales.

### **Palabras clave:**

*Cortaderia*, *Erianthus*, especie invasora, tolerancia salinidad, marjal, adaptabilidad, competencia

### **Autor del TFM:**

D. Andreu Manzanera Adell

### **Localidad y fecha:**

València, julio 2024

### **Tutora Académica:**

Prof. Dña. Monica Tereza Boscaiu Neagu

### **Cotutor:**

Prof. D. Josep Vicent Llinares Palacios

## **Abstract**

### **Assessment of salt stress tolerance in Valencian populations of the native species *Saccharum ravennae* and the invasive *Cortaderia selloana* (Poaceae)**

The main cause of biodiversity loss worldwide is the alteration of natural habitats, followed by biological invasions. This trend of increasing invasive species also affects the Valencian Community. The species *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn. has become a problem of ecological emergency in numerous regions of the world, including the Iberian Peninsula. In the Valencian territory, this species shares habitat with the native species *Saccharum ravennae* (L.) L. in different parts of the geography. The soils where these grasses grow already have a natural salinity, which may increase due to the change in rainfall pattern that is occurring in the Valencian Community caused by climate change.

Through the study of the germination of seeds sampled in populations of the two species in the province of Valencia, specifically in Cullera and Gandía, the analysis of the climatic and edaphic conditions, and the analysis of different biochemical compounds present in plant material collected in the study areas, the responses of these species to salinity in artificial, controlled conditions and in their natural habitats have been compared. The results obtained reveal that the species *C. selloana* is much more competitive and resistant under conditions of salt stress than the species *S. ravennae*, which can lead to the displacement and even disappearance of the native species and others typical of the spaces studied by the action of the invasive species. This fact could lead to an imbalance in the natural ecosystem that we find in both marshes.

## **Key words:**

*Cortaderia*, *Saccharum*, invasive species, salinity tolerance, marsh, adaptability, competition

## **Author:**

Mr. Andreu Manzanera Adell

## **Place and date:**

València, July 2024

## **Tutor:**

Prof. Mrs. Monica Tereza Boscaiu Neagu

## **Co-tutor:**

Prof. Mr. Josep Vicent Llinares Palacios

## **Agradecimientos**

Quisiera dedicar este trabajo a mi madre y a mi padre por apoyarme durante todo el transcurso del máster y acompañarme a las labores de campo cuando ha sido necesario.

A mi tutora Monica Tereza Boscaiu, por estar siempre pendiente de mis avances con el TFM durante todo el curso y por ayudarme en todo lo que le ha sido posible para la elaboración de este trabajo.

A mi cotutor Josep Vicent Llinares Palacios, por orientarme y ayudarme en toda la parte de los análisis de suelos, parte significativa para poder entender la ecología de las especies estudiadas.

Muchas gracias.

# ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. OBJETIVOS .....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
2.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).....	6
3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO DE LAS ZONAS DE ESTUDIO .....	7
3.1. LOS MARJALES DE CULLERA Y GANDÍA .....	7
3.2. CLIMA Y CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA .....	9
3.3. SUELOS .....	12
3.4. VEGETACIÓN .....	14
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES .....	17
4.1. <i>Cortaderia selloana</i> , el plumero de la pampa .....	17
4.2. <i>Saccharum ravennae</i> (syn. <i>Erianthus ravennae</i> L. y <i>Tripidium ravennae</i> (L.) H.Scholz, carricera .....	19
5. METODOLOGÍA.....	21
5.1. ENSAYOS DE GERMINACIÓN .....	21
5.2. ANÁLISIS DE SUELOS.....	22
5.3. ANÁLISIS QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS DEL MATERIAL VEGETAL .....	23
5.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
6.1. ENSAYOS DE GERMINACIÓN .....	24
6.2. ANÁLISIS DE SUELOS.....	27
6.3. ANÁLISIS QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS DEL MATERIAL VEGETAL .....	28
7. CONCLUSIONES .....	33
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Mapa de localización de la población 1 en el marjal de Cullera (A) y de la población 2 en el marjal de Gandía (B). Elaboración propia. ....	7
Figura 2. <i>Cortaderia selloana</i> junto a vegetación autóctona en el marjal de Cullera (A) y en el marjal de Gandía (B).....	8
Figura 3. Diagrama de Gausson de la estación de Tavernes de la Valldigna (A) y de Gandía Marxuquera (B). Fuente: IVIA. Elaboración propia. ....	10
Figura 4. Localización de la zona de estudio en Cullera (A) y Gandía (B) sobre el mapa geológico de España. Fuente: IGME. Elaboración propia.....	12
Figura 5. Localización de la zona de estudio en Cullera (A) y Gandía (B) sobre el mapa edafológico de España. Fuente: IGN. Elaboración propia.....	13
Figura 6. Vista del ecosistema presente en la localidad del marjal de Cullera. ....	15
Figura 7. <i>Saccharum ravennae</i> (A) y <i>Juncus acutus</i> (B) en la localidad del marjal de Cullera. ....	15
Figura 8. Vista del ecosistema presente en la localidad del marjal de Gandía. ....	16
Figura 9. Presencia de <i>Lemna minor</i> en acequia colindante con la localidad de estudio.....	16
Figura 10. <i>Cortaderia selloana</i> con presencia de espiguillas de la temporada anterior (Cullera). ....	17
Figura 11. Distribución actual a nivel mundial de la especie <i>C. selloana</i> . Fuente: cabidigitallibrary.org. ....	18
Figura 12. <i>Saccharum ravennae</i> en su hábitat en Cullera.....	19
Figura 13. Distribución actual a nivel mundial de la especie <i>S. ravennae</i> . Fuente: cabidigitallibrary.org. ....	20
Figura 14. Evolución de la germinación de semillas de <i>Cortaderia selloana</i> durante 30 días en presencia de varias concentraciones de NaCl.....	25
Figura 15. Evolución de la germinación de semillas de <i>Saccharum ravennae</i> durante 30 días en presencia de varias concentraciones de NaCl.....	26
Figura 16. Porcentaje final de la germinación de semillas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> . Medias $\pm$ SE (n = 4). ....	27
Figura 17. Concentración de prolina en la parte aérea de plantas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> recogidas en dos localidades en el campo. Medias $\pm$ SE (n = 10).....	28
Figura 18. Concentración de cationes monovalentes (Na <sup>+</sup> ) en la parte aérea de plantas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> recogidas en dos localidades en el campo. Medias $\pm$ SE (n = 10).....	29
Figura 19. Concentración de cationes monovalentes (K <sup>+</sup> ) en la parte aérea de plantas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> recogidas en dos localidades en el campo .....	30
Figura 20. Concentración de cationes bivalentes (Ca <sup>2+</sup> ) en la parte aérea de plantas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> recogidas en dos localidades en el campo. Medias $\pm$ SE (n = 10) ....	30
Figura 21. Concentración de cationes bivalentes (Mg <sup>2+</sup> ) en la parte aérea de plantas de <i>Cortaderia selloana</i> y <i>Saccharum ravennae</i> recogidas en dos localidades en el campo. Medias $\pm$ SE (N = 10). ....	31
Figura 22. Análisis de Componente Principales (PCA) con los valores medios de los parámetros medidos en suelo y en material vegetal. ....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Valores medios de una serie de 13 años de la estación de Tavernes de la Valldigna y de Gandía Marxuquera. Fuente: IVIA.....	9
Tabla 2. Valores del índice de termicidad (It) para las estaciones consideradas.....	10
Tabla 3. Clasificación del piso bioclimático de las estaciones consideradas según Rivas-Martínez (1987). .....	11
Tabla 4. Clasificación del índice ombrotérmico (Io) para las estaciones consideradas según Rivas-Martínez (1987).....	11
Tabla 5. Clasificación de la continentalidad de la estación considerada según Rivas-Martínez (1987). .....	11
Tabla 6. Detalle de los tratamientos llevados a cabo durante la fase de germinación. ....	21
Tabla 7. Porcentajes finales de germinación y tiempo medio de germinación (MGT) en la especie <i>Cortaderia selloana</i> en los tres tratamientos con duración de 30 días. ....	24
Tabla 8. Porcentajes finales de germinación y tiempo medio de germinación (MGT) en la especie <i>Saccharum ravennae</i> en los tres tratamientos con duración de 30 días.....	25
Tabla 9. Características edáficas en las zonas de muestreo de las dos especies en las dos localidades). Medias $\pm$ SE (N = 3). .....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas provocan graves repercusiones a nivel ecológico, económico y social. Las especies de flora invasora generan efectos negativos sobre la biodiversidad local y el funcionamiento de los ecosistemas a través de efectos, tanto directos como indirectos, incluyendo la competencia interespecífica, los cambios a nivel microclimático y las interferencias en el régimen de perturbaciones y ciclos de nutrientes. Debido a sus impactos ecológicos, a veces desastrosos, actualmente se considera que este tipo de invasiones son la segunda causa de pérdida de biodiversidad a escala global, después de la alteración y destrucción de los hábitats (MITECO, 2018). Estas especies vegetales están afectando en particular a las zonas más frágiles como zonas riparias y marjales, dunas costeras, playas y acantilados, pero también a zonas deforestadas o abiertas y ambientes más ruderales (Zedler *et al.*, 2004; Grzędzicka, 2023).

No todas las especies exóticas tienen potencial invasor, pero las que lo presentan pueden competir con las especies locales llegando a desplazarlas, hibridando con ellas y generando desequilibrios en el ecosistema o cambios a nivel de paisaje que pueden llegar a ser muy importantes, impactando negativamente en la flora y fauna nativa, y en algunos casos ocasionando cuantiosos daños en las economías agrícolas de la zona (Mollot *et al.*, 2017).

Por tanto, una especie exótica invasora es aquella que, desplazada de su medio original, tiene la capacidad de establecerse en un nuevo ecosistema o hábitat natural o seminatural, siendo un agente de cambio y una amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética (MITECO, 2018). A esta definición se ajusta el género *Cortaderia* Stapf. con varias de sus especies incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Estas especies presentan un gran potencial invasivo y transformador del medio, afectando en la actualidad a espacios protegidos y hábitats de interés comunitario de zonas costeras y sistemas fluviales. En concreto la especie *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult.F.) Asch. & Graebn. se ha convertido en un problema de emergencia ecológica en casi todos los países del mundo, afectando entre otros, a Nueva Zelanda, China, Estados Unidos y casi toda Europa, incluyendo España (MITECO, 2018).

Por otra parte, en el clima mediterráneo domina una doble adversidad sobre los sistemas biológicos: la limitación de los recursos hídricos y la irregularidad o impredecibilidad de las precipitaciones, viéndose incrementada esta última por la acción del cambio climático. Las especies vegetales muestran ante el estrés hídrico respuestas que tienden a evitarlo o bien, mecanismos o adaptaciones que permiten tolerarlo, coexistiendo ambas estrategias en ecosistemas mediterráneos donde las especies que sufren un mayor estrés hídrico son las que muestran una mayor transpiración y viceversa (Valladares *et al.*, 2004). De este modo, la sequía se convierte un factor crítico para los ecosistemas terrestres (Gracia *et al.*, 2001).

Las predicciones sobre el cambio climático señalan que nos dirigimos hacia un escenario dominado por el aumento de la duración e intensidad de las sequías durante el siglo XXI, asociadas con un régimen más irregular de precipitaciones y temperaturas extremas, en general más cálidas (IPCC, 2023). Así pues, la sequía limita el desarrollo y la supervivencia de las plantas, comportándose como un agente selectivo de especies en función de su tolerancia al estrés hídrico (Valladares *et al.*, 2004). Este escenario deriva en la salinización de los suelos, ya que, al



disminuir las precipitaciones, el suelo cada vez será más salino por la falta del lavado de sales que la lluvia ejerce sobre él (Shrivastava & Kumar, 2015). Por otro lado, los cultivos agrícolas en muchas zonas con clima árido y semiárido requieren una intensificación de las irrigaciones, lo que puede provocar la salinización secundaria de los suelos (Herrero & Pérez-Coveta, 2005).

El cambio climático también implica la pérdida de biodiversidad en el mundo, así como también lo hacen las especies invasoras, ocasionando graves problemas de conservación de especies (MITECO, 2023).

Numerosas especies vegetales invasoras han sido introducidas por el ser humano con motivos ornamentales o por la agricultura. Las consecuencias de estas acciones conllevan a la extinción de las especies locales y a modificaciones en la dominancia de las especies en los diferentes ecosistemas terrestres. Por todo ello, las especies invasoras desempeñan un papel antagonista en los diferentes ecosistemas en los que se establecen, ya que poseen unos límites de tolerancia distintos a las especies autóctonas (Valladares *et al.*, 2005). Si a esto se le suman el resto de los factores que provocan la pérdida de biodiversidad como son la pérdida y deterioro de hábitats por la acción humana, la sobreexplotación de recursos y la contaminación, nos encontramos ante una problemática de gran envergadura: la pérdida genética de una gran variedad de especies, únicas en el mundo y vulnerables ante dichos cambios (Mooney & Cleland, 2001).

Los diferentes efectos del cambio climático conllevan la supervivencia de aquellas especies más resistentes a las nuevas condiciones (Jump & Penuelas, 2005) o la extinción de aquellas que no son capaces de adaptarse a las mismas (Thomas *et al.*, 2004). Por ello, aquellas especies más adaptadas o con mayor rango de tolerancia a las diferentes condiciones ambientales, se podrán propagar con mayor facilidad entre los diferentes ambientes (Clements & Ditommaso, 2011).

Algunas consecuencias del cambio climático, como es el incremento del nivel del mar, provoca que se produzcan intrusiones marinas en las zonas más próximas a la costa, y la escasez de agua, son circunstancias que conducirán con seguridad a una tendencia de la salinización de los suelos en las zonas costeras más vulnerables como, por ejemplo, los deltas y los humedales (Genua *et al.*, 2016).

Por todo ello, en el presente trabajo se pretende comparar el comportamiento de dos especies vegetales, la especie invasora *Cortaderia selloana* con la especie nativa *Saccharum ravennae* (L.) L., especies que conviven juntas en ecosistemas de la provincia de Valencia, ante una situación de aumento simulado de la salinidad del suelo en condiciones controladas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

El principal objetivo de este trabajo es analizar las respuestas de dos especies vegetales, una autóctona (*Saccharum ravennae*) y otra invasora (*Cortaderia selloana*), ante diferentes situaciones controladas de estrés salino para conocer los posibles comportamientos de estas especies, en un escenario de salinización del suelo por acción del cambio climático.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

1. Caracterización del medio físico de las zonas de muestreo (marjal de Cullera y marjal de Gandía) de donde se extrajeron las semillas para su posterior cultivo en condiciones controladas.
2. Comprobación de la capacidad germinativa de las semillas en diferentes condiciones de salinidad, para conocer la respuesta de las mismas ante las variaciones de este factor.
3. Conocer los valores de diferentes parámetros edáficos de los suelos de las zonas de estudio donde se desarrollan las dos especies estudiadas.
4. Análisis de las concentraciones de diferentes elementos, con los que se puede evaluar la tolerancia a los efectos del estrés salino, a partir de material vegetal recolectado de las zonas de estudio.

### **2.3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)**

Este trabajo queda enmarcado dentro del ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres, el cual cuenta con una serie de metas a alcanzar. Con la realización del presente trabajo se pretende mostrar la realidad de estos ecosistemas y poner en valor la unidad ambiental en sí misma, así como de las especies que lo habitan.

Así pues, de las metas establecidas dentro del ODS 15 y que podemos incorporar en este trabajo serían:

- Lucha contra la desertificación
- Detener e invertir la degradación de los suelos
- Detener la pérdida de biodiversidad

### 3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

#### 3.1. LOS MARJALES DE CULLERA Y GANDÍA

El marjal de Cullera forma parte del Parque Natural de l'Albufera. El uso de suelo tradicional que se ha llevado a cabo en esta zona es el agrícola, principalmente el cultivo del arroz, junto a zonas que conservan su carácter natural. La Población 1 Cullera, con coordenadas UTM (ETRS89, Huso 30) X; Y: 736.102; 4.340.280 (Figura 1A), se localiza próxima de la estación de trenes del municipio. Se encuentra situada sobre una zona húmeda muy degradada, con vestigios de lo que fueron viveros de plantas ornamentales que actualmente se encuentran abandonados y sin control alguno sobre las especies que ahí se cultivaban, junto con presencia residual de vegetación propia de humedal y especies nitrófilas (Figura 2A). En este hábitat podemos encontrar ejemplares de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae*.

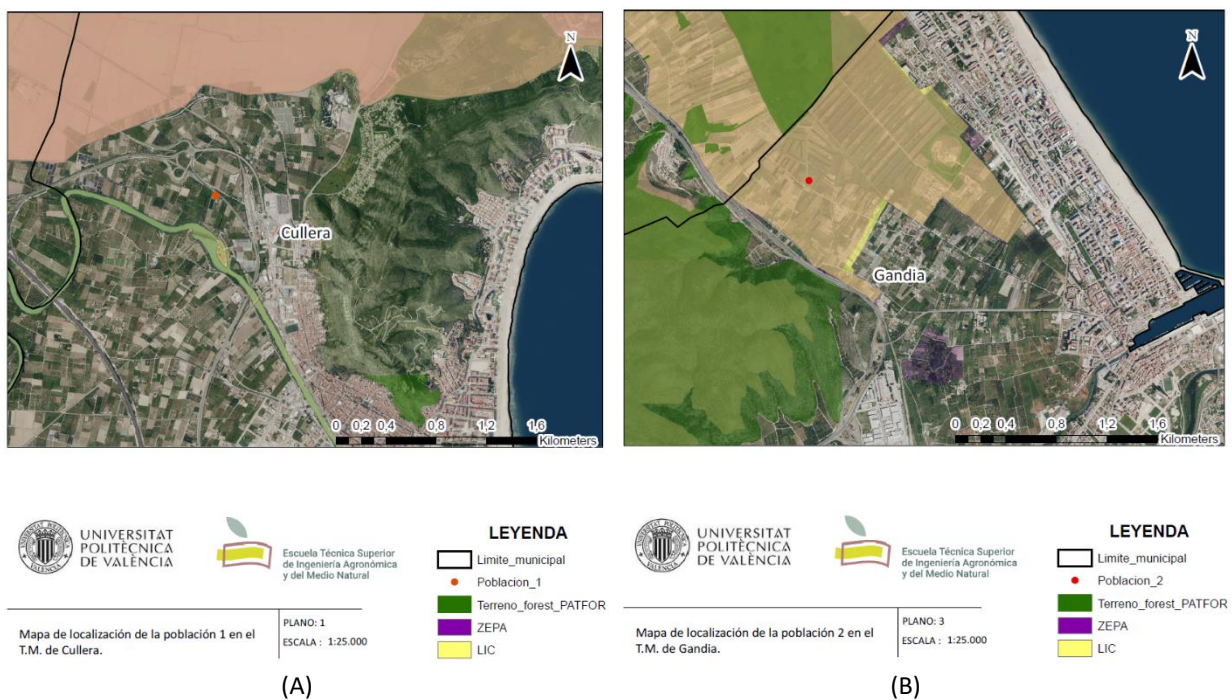


Figura 1. Mapa de localización de la población 1 en el marjal de Cullera (A) y de la población 2 en el marjal de Gandía (B). Elaboración propia.

El marjal de Gandía pertenece a unidad ambiental mayor, el marjal de la Safor. El marjal de Gandía tiene una extensión 450 ha, es decir, un 37% de la superficie total del marjal. En este enclave encontramos a la Población 2, marjal de Gandía, con coordenadas UTM (ETRS89, Huso 30) X; Y: 743.325; 4.321.119 (Figura 1B). Esta población encontramos numerosos individuos de *Cortaderia* ocupando el margen de una acequia e invadiendo los carrizales y banales abandonados próximos (Figura 2B). También aparece *Saccharum ravennae*, pero con mucha menos representación.



Figura 2. *Cortaderia selloana* junto a vegetación autóctona en el marjal de Cullera (A) y en el marjal de Gandía (B).

### 3.2. CLIMA Y CLASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA

Los datos meteorológicos para la caracterización del marjal de Cullera y de Gandía han sido extraídos de la base de datos del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) procedentes de la estación meteorológica más próxima a Cullera, que es la estación de Tavernes de la Valldigna, proporcionando una serie de datos completa de 13 años (2009 – 2022) y, por otro lado, los datos para la caracterización climática del marjal de Gandía proceden de la estación meteorológica de Gandía Marxuquera, proporcionando una serie de datos completa de 13 años (2009 – 2022).

El marjal de Cullera presenta un clima mediterráneo, caracterizado por unas temperaturas medias anuales de 17,9 °C, con veranos calurosos donde la media de las temperaturas máximas supera ligeramente los 30 °C e inviernos suaves con medias de las temperaturas máximas para estos meses superiores a los 16 °C. En cuanto a precipitaciones se observan picos de acumulado en los meses de primavera y otoño, siendo mínimos durante parte del invierno y en los meses de verano. La precipitación media anual para el periodo analizado es de 626,2 mm.

Respecto al marjal de Gandía, éste cuenta también con clima mediterráneo, caracterizado por unas temperaturas medias anuales de 17,5 °C, con veranos calurosos donde la media de las temperaturas máximas supera ligeramente los 32 °C e inviernos suaves con medias de las temperaturas máximas para estos meses rozando los 17 °C. También en esta zona se observan picos de precipitaciones en los meses de primavera y otoño, con mínimos en invierno y verano. La precipitación anual para el periodo analizado es algo menor que en la zona anterior, con una media de 560,7 mm.

Tabla 1. Valores medios de una serie de 13 años de la estación de Tavernes de la Valldigna y de Gandía Marxuquera. Fuente: IVIA.

Mes	TAVERNES DE LA VALLDIGNA				GANDÍA MARXUQUERA			
	Ti (°C)	Mi (°C)	mi (°C)	Pi (mm)	Ti (°C)	Mi (°C)	mi (°C)	Pi (mm)
Enero	11,4	16,7	6,3	57,6	10,3	16,9	4,9	72,5
Febrero	11,8	17,1	6,5	21,9	11,0	17,6	5,3	26,6
Marzo	13,3	18,4	8,1	70,6	12,8	19,0	7,0	81,4
Abril	15,5	20,4	10,6	61,6	15,3	21,5	9,4	74,1
Mayo	18,9	24,0	13,3	27,1	19,1	25,7	12,2	24,7
Junio	22,7	27,6	17,1	15,9	23,2	29,7	16,3	7,6
Julio	25,7	30,3	20,4	10,8	26,1	32,4	19,5	7,0
Agosto	25,7	30,4	20,5	47,3	25,9	32,1	19,8	18,4
Septiembre	22,9	28	17,6	79,2	22,6	28,6	17,1	48,2
Octubre	19,0	24,3	14,1	71,2	18,5	24,9	13,1	52,6
Noviembre	14,9	20,1	10,2	99,9	14,0	20,1	9,0	92,6
Diciembre	12,3	17,7	7,5	63,0	11,3	18,0	6,1	55,1

Donde:

- Ti: Temperatura media mensual (°C)
- Mi: Temperatura media mensual de las máximas (°C)
- mi: Temperatura media mensual de las mínimas (°C)
- Pi: Precipitación media mensual (mm)

En el diagrama ombrotérmico de Gausson (Figura 3), utilizado para expresar gráficamente la existencia y duración de los períodos secos, considerándose un mes como seco o árido cuando las precipitaciones son menores que el doble de las temperaturas (Almorox, 2003), se puede ver de manera muy clara el déficit hídrico al cual se enfrenta la vegetación a lo largo del año. Así pues, para ambos entornos, se aprecian dos periodos secos, uno en invierno y otro en verano, siendo el periodo de invierno mucho más acusado en el marjal de Cullera que en el de Gandía. Por otro lado, en primavera y otoño se detectan periodos más húmedos.

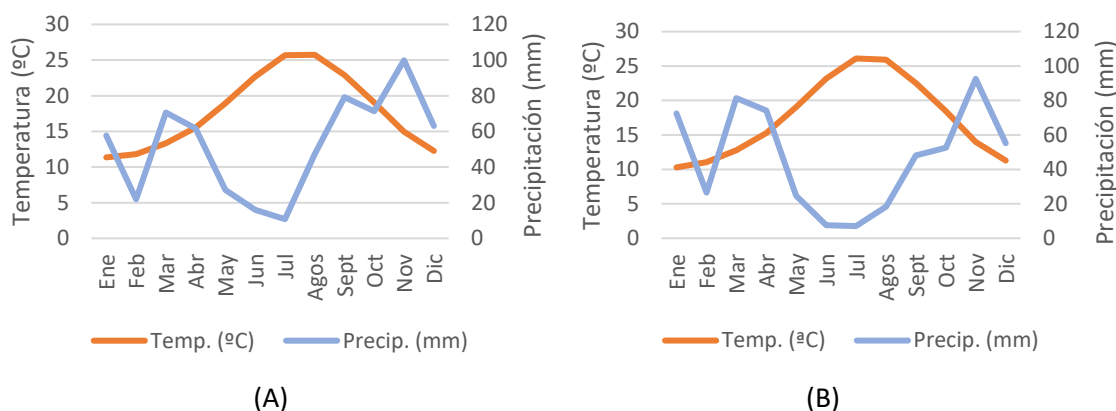


Figura 3. Diagrama de Gausson de la estación de Tavernes de la Valldigna (A) y de Gandía Marxuquera (B). Fuente: IVIA. Elaboración propia.

Para la clasificación bioclimática de las zonas de estudio se ha llevado a cabo el método establecido por Rivas-Martínez (1987), basado en las relaciones entre plantas y comunidades vegetales con determinados valores de clima.

Los resultados de los parámetros bioclimáticos calculados se muestran en las Tablas 2-5. Los parámetros analizados son:

- Índice de termicidad (It)
- Índice ombrotérmico (Io)
- Índice de continentalidad (Ic)

La obtención del índice de termicidad (It) nos proporciona información acerca del piso bioclimático al cual pertenece cada uno de los enclaves (ver Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Valores del índice de termicidad (It) para las estaciones consideradas.

Estación	Tm (°C)	M (°C)	M (°C)	It
Tavernes	17,9	16,7	6,3	<b>409</b>
Gandía	17,5	16,9	4,9	<b>393</b>

Tabla 3. Clasificación del piso bioclimático de las estaciones consideradas según Rivas-Martínez (1987).

Piso Bioclimático	Nivel	Intervalo de It	Estación
<b>Termomediterráneo</b>	Superior	350 – 400	Gandía
	Inferior	400 – 450	Cullera

Con el cálculo del índice ombrotérmico (indicado en la Tabla 4) se obtiene la información relativa a la humedad que puede presentar cada paraje.

Tabla 4. Clasificación del índice ombrotérmico (Io) para las estaciones consideradas según Rivas-Martínez (1987).

Tipos Ómbricos	Horizontes Ómbricos	Intervalo de Io	Valor de Io	Estación
<b>Seco</b>	Superior	2,8 – 3,6	<b>2,9</b>	Cullera
	Inferior	2,00 – 2,8	<b>2,7</b>	Gandía

Mediante el cálculo del índice de continentalidad simple (Tabla 5) se obtiene información acerca de las oscilaciones térmicas anuales.

Tabla 5. Clasificación de la continentalidad de la estación considerada según Rivas-Martínez (1987).

Tipo	Subtipos	Intervalo de Ic	Ic Cullera	Ic Gandía
<b>Oceánico</b>	Semihiperocéánico acusado	11,0 – 13,0		
	Semihiperocéánico atenuado	13,0 – 14,0		
	<b>Euoceánico acusado</b>	<b>14,0 – 16,0</b>	<b>14,4</b>	<b>15,8</b>
	Euoceánico atenuado	16,0 – 17,0		
	Semicontinental atenuado	17,0 – 19,0		
	Semicontinental acusado	19,0 – 21,0		

Una vez calculados estos parámetros, y usando la Clave de Bioclimas Mediterráneos de Rivas-Martínez (1987) se pueden clasificar los bioclimas del territorio del marjal de Cullera y del marjal de Gandía como **Mediterráneo pluviestacional-oceánico**.

### 3.3. SUELOS

#### MARCO GEOLÓGICO

Para este apartado se ha consultado la Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000 (GEODE) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

El entorno del marjal de Cullera se localiza en la zona 1800: Prebético, y tal y como se puede observar en la Figura 4A, la población 1 se encuentra en un área codificado con la numeración 388 que equivale a llanuras de inundación. Estas llanuras están formadas por depósitos de origen aluvial en los que se observan distintas proporciones de arenas, limos y arcillas (Martín-Serrano *et al.*, 2011).

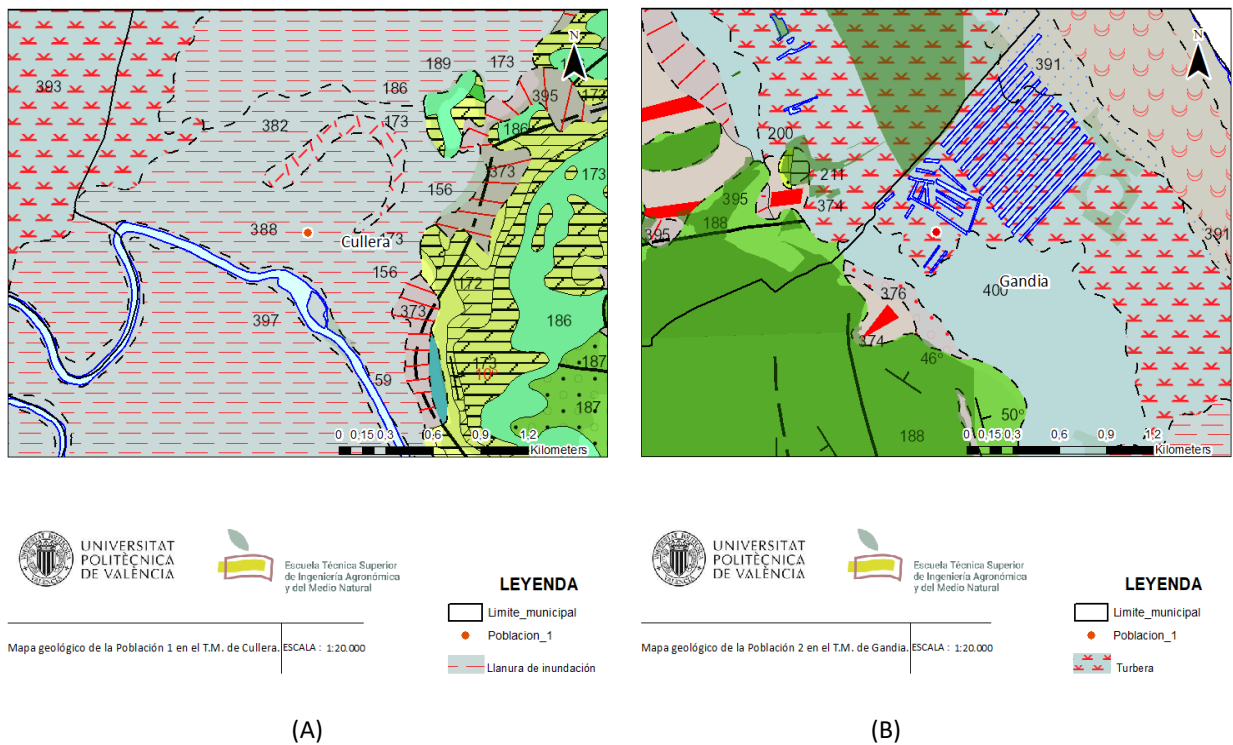


Figura 4. Localización de la zona de estudio en Cullera (A) y Gandía (B) sobre el mapa geológico de España. Fuente: IGME. Elaboración propia.

La zona del marjal de Gandía se localiza en la zona 1800: Prebético, y como se muestra en la Figura 4B, la población 2 se encuentra en un área codificado con la numeración 393 equivalente a turbera. Estas turberas están formadas por limos oscuros con gran contenido en materia orgánica, que constituyen pequeños y escasos afloramientos, ligados con antiguas áreas endorreicas (Martín-Serrano *et al.*, 2011).



## MARCO EDAFOLÓGICO

Para este apartado se ha consultado el Mapa de suelos de España: Escala 1:1.000.000 elaborado por Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El entorno del Marjal de Cullera y en concreto, donde se desarrolla la población 1, se encuentra localizada en un área codificada con la numeración 73 que equivale un suelo Xerofluent xerorthent (Figura 5A). Así pues, el grupo de suelo Xerofluent se encuentra en asociación con el grupo Xerorthent, presentando características de ambos grupos, debido al afloramiento de materiales detríticos y carbonatados terciarios. Son suelos típicos de fondo de valle o de llanuras aluviales, y por ello, muy abundantes en la Comunitat Valenciana.

Los Xerofluents son Entisoles poco desarrollados sobre materiales aluviales actuales. Son suelos que se encuentran sobre todo en las llanuras litorales, cuyo origen está relacionado con la dinámica de los mismos. Se pueden diferenciar de los Fluvent por las características xéricas del medio donde se forman. Por otro lado, los Xerorthents son suelos poco evolucionados en los que sólo se puede observar un horizonte A óchrico, siendo las características del suelo son muy parecidas a la del material geológico de origen. Su génesis tiene lugar sobre materiales detríticos modernos o sobre materiales que sus características dificultan la evolución del propio suelo, como las margas.

Estos suelos son, en general, suelos profundos con texturas variables, incluso dentro del perfil, por su carácter poligenético; los contenidos en materia orgánica son relativamente bajos, disminuyendo irregularmente con la profundidad; el pH oscila entre 7,5 y 8,1 dependiendo del contenido en carbonatos, ya que es muy variable (Soil Survey Staff, 2014).

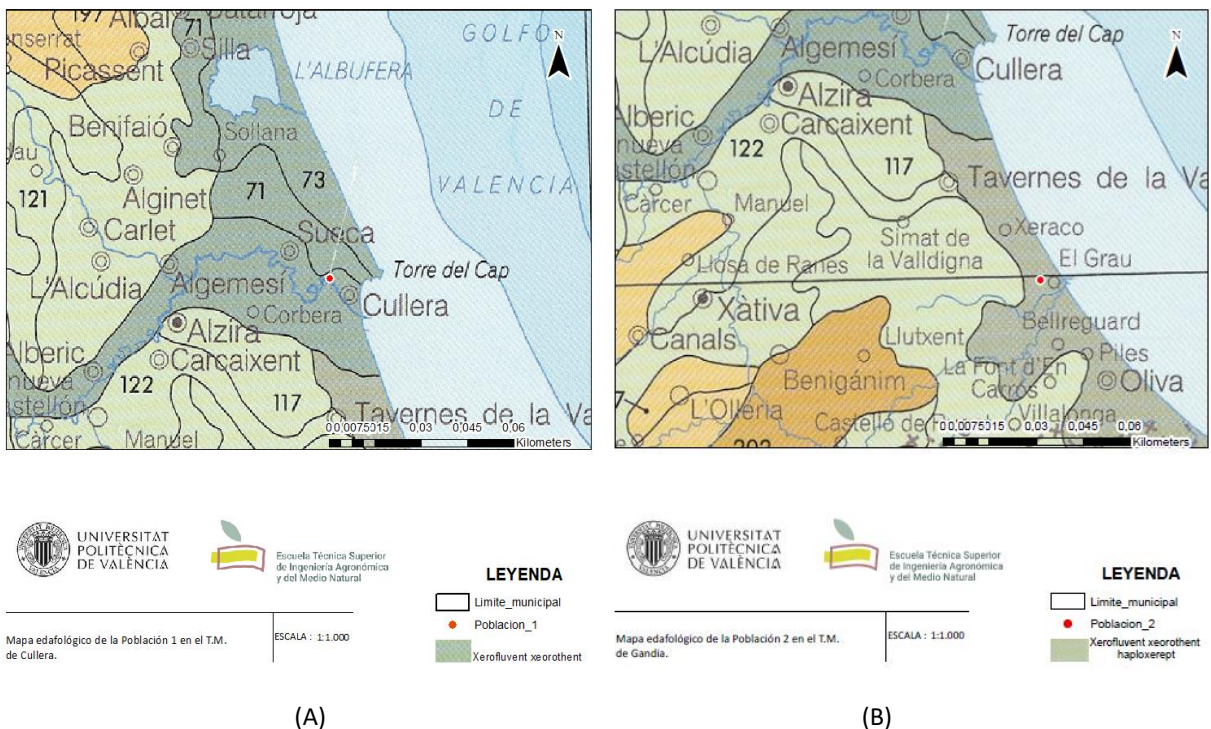


Figura 5. Localización de la zona de estudio en Cullera (A) y Gandía (B) sobre el mapa edafológico de España. Fuente: IGN. Elaboración propia.

En cambio, los suelos del marjal de Gandía y, en concreto la zona donde aparece la población 2, se encuentra localizado en un área codificado con la numeración 76 que equivale un Entisol Xerofluvent xerorthent haploxerept (Figura 5B). Los suelos de esta zona son muy similares a los que podemos encontrar en la zona del marjal de Cullera, pero con una fertilidad natural relativamente alta. Algunos de los suelos tienen una acumulación de carbonato cálcico en el subsuelo. Estos suelos son especialmente húmedos durante el invierno y la primavera, pudiéndose encontrar muy secos en algún periodo del verano (Soil Survey Staff, 2014).

### 3.4. VEGETACIÓN

Ambas zonas de estudio se encuadran dentro del siguiente esquema corológico:

Reino Holártico

Región Mediterránea

Subregión Mediterránea-Occidental

Superprovincia Mediterráneo-Iberolevantina

Provincia Valenciano-Catalano-Provenzal

Sector Setabense

#### VEGETACIÓN POTENCIAL

La vegetación potencial que cabe esperar en las dos zonas de estudio, según Salvador Rivas-Martínez (1987), corresponde a series edafohigrófilas o de vegetación de ribera. Estas series de vegetación suelen presentar amplias áreas de distribución, ya que el clima no es un factor determinante para su aparición. Además, debido a la fuerte presión antrópica ejercida sobre estos territorios, se hace complicado reconocer con precisión la serie de vegetación o ecosistema que podría dominar en esta zona. Sin embargo, pueden definirse una serie de ecosistemas generales que podrían ocupar este territorio:

- a) Hábitats del tipo aguas estancadas mediterráneas, de diferente composición vegetal dependiendo del contenido en minerales y materia orgánica.
- b) Praderas del *Molinion-Holoschoenion vulgaris* Br.-Bl. ex Tchou, formando praderas ricas en herbazales y juncales, dominadas por especies de los géneros *Scirpus* L., *Cyperus* L. y *Juncus* L., dependiendo de condiciones concretas de salinidad y humedad edáfica.
- c) Turberas calcáreas del *Cladium mariscus* (L.) Pohl y con especies del *Caricion davallianae* Klika, típicas de ambientes de emanación de agua dulce procedente del acuífero (*ullals*), extendidas por todo el ámbito de las comarcas de La Ribera y La Safor y otros litorales del Mediterráneo occidental.
- d) Comunidades similares al *Soncho maritimi-Cladietum marisci* Br.-Bl. & O. Bolòs, que forma estrechas bandas entre las comunidades acuáticas y las propias del *Phragmito-Magnocaricetea* Klika et Novák, dominante en las áreas que rodean humedales.

## VEGETACIÓN ACTUAL

Como se ha comentado anteriormente, el marjal de Cullera (Figuras 6 y 7) se encuentra dentro del área del Parque Natural de l'Albufera, así pues, la mayor parte del Parque Natural se encuentra ocupado por cultivos de arroz y por el propio lago, la vegetación autóctona encontrándose en las acequias, *ullals* y las zonas marginales del arrozal, el lago y sus islas. La vegetación que aparece en el Parque Natural se puede asociar a los tipos de ambientes en que se distribuye.



Figura 6. Vista del ecosistema presente en la localidad del marjal de Cullera.

La vegetación dominante en esta zona es la helofítica, formada por plantas herbáceas de gran tamaño, enraizadas bajo el agua, pero con una parte del sistema vegetativo y las estructuras reproductivas emergidas. Este tipo de vegetación está constituida por carrizales dominados por *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., eneales (*Typha domingensis* Pers.), mansegares [*Cladium mariscus* (L.) Pohl] y juncales [*Juncus acutus* (L.) Torr. ex Retz., *J. maritimus* Lam.].

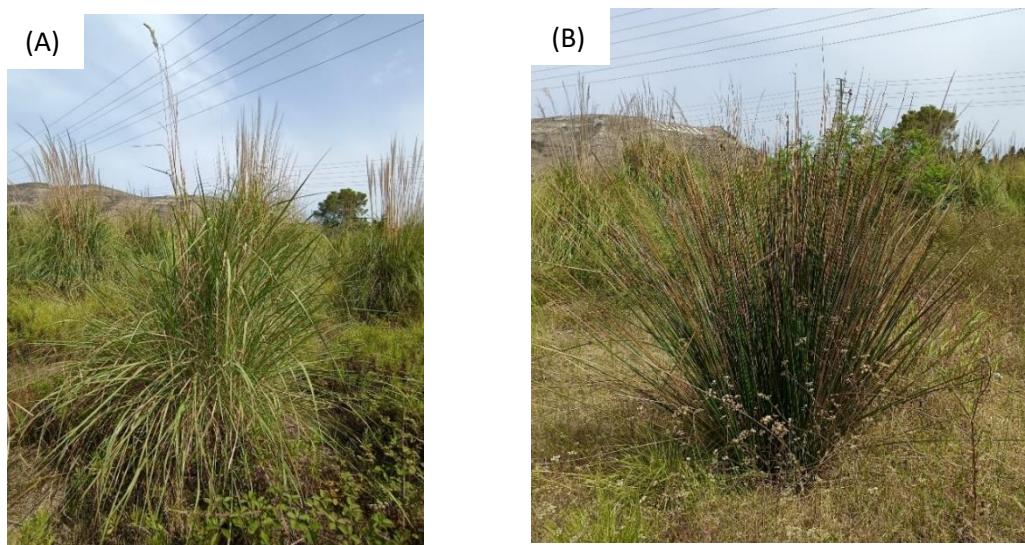


Figura 7. *Saccharum ravennae* (A) y *Juncus acutus* (B) en la localidad del marjal de Cullera.

La vegetación helofítica depende de factores como el grado de inundabilidad, la salinidad y las características del suelo. Otros tipos de vegetación representativos en la zona son la vegetación halófila y la vegetación hidrófila. La primera de estas se compone de comunidades vegetales herbáceas o leñosas que se instalan sobre suelos húmedos o encharcados enriquecidos con sales. Por otro lado, la vegetación hidrófila, está formada por comunidades sumergidas, anfibas, flotantes o palustres.

En cuanto a la situación actual de la vegetación de la zona de estudio en el marjal de Gandía (Figura 8), el ecosistema presenta un alto grado de degradación. La mayor parte de la superficie del marjal está ocupada por cultivo de cítricos con un elevado porcentaje de campos abandonados, y en segundo lugar por cultivo hortícola, que presentan un escaso valor ambiental, pero un alto valor socioeconómico.



Figura 8. Vista del ecosistema presente en la localidad del marjal de Gandía.

Existe una gran representación de vegetación acuática, con una gran diversidad de especies, entre las cuales destacan algunos grupos taxonómicos, como las algas caráceas, de los géneros *Chara* L. y *Tolypella* (A.Braun) A.Braun.



Figura 9. Presencia de *Lemna minor* en acequia colindante con la localidad de estudio.

Una especie con una alta representación es la lenteja de agua (Figura 9) (*Lemna gibba* L. y *Lemna minor* L.) y los nenúfares (*Nymphaea alba* L.). También se encuentran representaciones de fanerógamas sumergidas como *Myriophyllum* L. y *Ceratophyllum* L.

En cuanto a la vegetación terrestre autóctona, la más extensa y representativa es el carrizal, donde predomina las especies *Phragmites australis*, *Thypha domingensis* y los juncos, *Scirpus littoralis* Schrad. y *Schoenus nigricans* L. Otras especies que cabe destacar son: *Nasturtium officinale* W.T.Aiton, *Apium nodiflorum* (L.) Lag., *Iris pseudacorus* L. y *Cladium mariscus*.

## 4. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

### 4.1. *Cortaderia selloana*, el plumero de la pampa

#### Información taxonómica

**Reino:** Plantae

**Phylum:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** *Cortaderia*

**Nombre científico:** *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn.

La especie es una gramínea sudamericana introducida en zonas templadas y subtropicales fundamentalmente como planta ornamental o para el control de la erosión y como una barrera contra el viento. Se encuentra catalogada como uno de los peores taxones invasores en Europa (DAISIE, 2009) y como especie nociva en el oeste de Australia (Parsons & Cuthbertson, 2001).

Forma densas e impenetrables masas que pueden dañar las tierras de pastoreo y afectar a la visibilidad en las carreteras. Puede colonizar rápidamente zonas seminaturales en un corto período de tiempo, siendo una amenaza para la diversidad de plantas nativas. Favorece la presencia de incendios (CABI, 2024).

#### Descripción de la especie

Es una planta erecta perenne de 2 a 4 m de altura. Las hojas son de 1 a 3 m de largo y de 3 a 8 cm de ancho, de color verde claro o blanquecino, con márgenes aserrados y una sección transversal en forma de V (Figura 10). Las hojas están contenidas en grupos en una vaina a menudo glabra en la base. Cada planta produce varias inflorescencias plumosas de tipo panícula, largas y rígidas, de color blanco o púrpura. Esta especie forma numerosas espiguillas de 1,5 cm, que contienen seis floretes en las plantas femeninas y tres en las plantas hermafroditas. Las envolturas de los floretes son membranosas y de color blanquecino, el lema es largo y peludo, con aristas de menos de un centímetro de largo. El fruto presenta una forma ovada, de 1 a 1,5 cm de largo, de color marrón claro, persistente en la planta (Vibrans, 2009).



Figura 10. *Cortaderia selloana* con presencia de espiguillas de la temporada anterior (Cullera).

## Distribución

*C. selloana* es originaria de las zonas templadas de América del Sur como Argentina, Chile, Brasil y Uruguay, donde se puede encontrar desde el nivel del mar hasta los 1900 m.s.n.m. (Zuloaga *et al.*, 2008). Sin embargo, en su área de distribución introducida, al menos en Europa, se encuentra principalmente en altitudes bajas, estando presente en Irlanda y Reino Unido, Francia, Italia, España y Portugal. También se encuentra en muchas islas de Micronesia, Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, islas hawaianas y la costa del Pacífico de Estados Unidos (Figura 11). Es una de las especies invasoras emergentes con mayor distribución potencial en Sudáfrica, Lesoto y Suazilandia, especialmente en pastizales (Mgidi *et al.*, 2007).

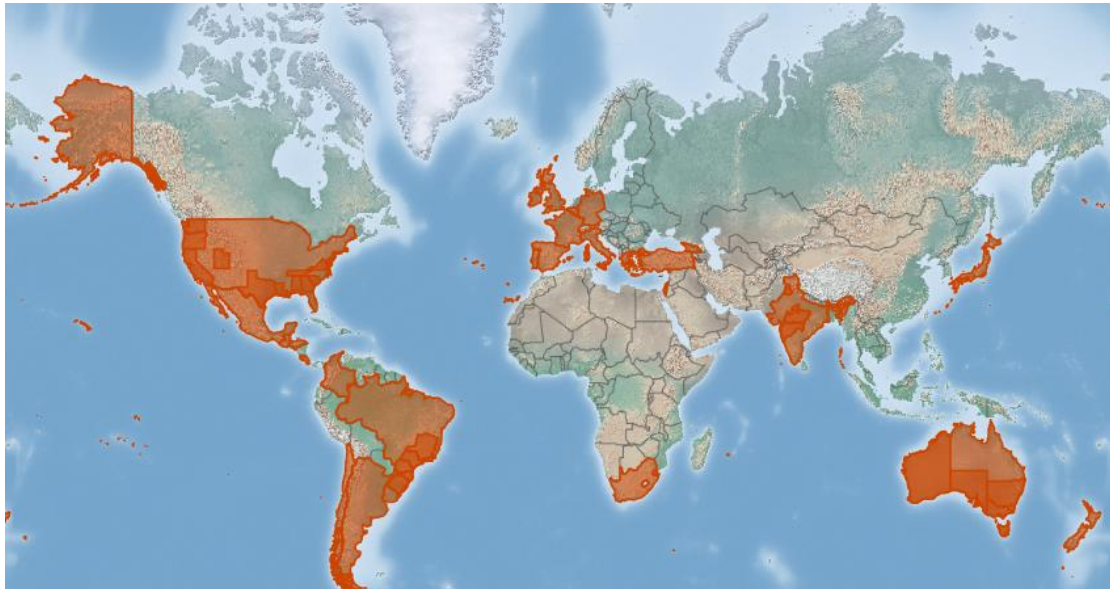


Figura 11. Distribución actual a nivel mundial de la especie *C. selloana*. Fuente: cabidigitallibrary.org.

## Hábitat

En su área de distribución natural, esta gramínea es común en suelos húmedos en llanuras de pastizales, dunas, zonas de matorrales escasos y hábitats ribereños. En su área de distribución introducida, los principales hábitats invadidos son lugares húmedos en general. Ocurre en hábitats costeros de dunas y arenales, pastizales y hábitats de hierbas altas, bosques talados recientemente, bosques y monte bajo en etapa inicial, redes de transporte y tuberías y otras áreas construidas de superficie dura, depósitos de desechos, márgenes de manglares, estuarios, pantanos y humedales (Parsons & Cuthbertson, 2001).

#### 4.2. *Saccharum ravennae* (syn. *Erianthus ravennae* L. y *Tripidium ravennae* (L.)

H.Scholz, carricera

##### Información taxonómica

**Reino:** Plantae

**Phylum:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Poales

**Familia:** Poaceae

**Género:** *Saccharum*

**Nombre científico:** *Saccharum ravennae* (L.) L.

*S. ravennae* es un pasto alto, con tallos parecidos al bambú que producen flores grandes y atractivas a más de 3 m del suelo. Ampliamente introducida como ornamental, para el mejoramiento de cultivos y, en años más recientes, como posible cultivo bioenergético (CABI, 2024).

##### Descripción de la especie

Es una especie cespitosa (crecimiento a partir de rizomas). Sus tallos aéreos pueden alcanzar hasta los 2 m de altura y 1,5 cm de diámetro, son robustos y glabros. Las hojas cuentan con lígulas truncadas y obtusas de 0,5 a 2,5 mm. En cuanto al limbo es plano con márgenes serrados



y el nervio medio muy marcado y blanquecino, significativamente hirsuto en el haz hacia la zona de la vaina. La panícula es de 25 a 60 cm, de contorno lanceolado, más o menos lobada, plumosa, con ramas pilosas (Figura 12). Las espiguillas son de 3,5 a 5,5 mm, rodeadas en la base por numerosos pelos sedosos de hasta 6 mm, con pedúnculos pilosos. Las glumas son agudas o acuminadas, con nervios escábridos. El lema membranoso es agudo, cuyas flores hermafroditas con arista de 2,5 a 5 mm. Las anteras son de hasta 2,5 mm y la cariósida es oblonga (de 1,5 x 0,6 mm). El periodo de floración es de mayo a octubre (Valdés *et al.*, 1987).

Figura 12. *Saccharum ravennae* en su hábitat en Cullera.

## Distribución

*Saccharum ravennae* tiene una amplia distribución natural en Eurasia, desde España hasta China (Figura 13). Se encuentra en toda la región del Mediterráneo, Europa, el norte de África y Oriente Próximo, la Península Arábiga y Somalia en el Cuerno de África, y a lo largo de Asia central hasta Xinjiang, China (CABI, 2024).

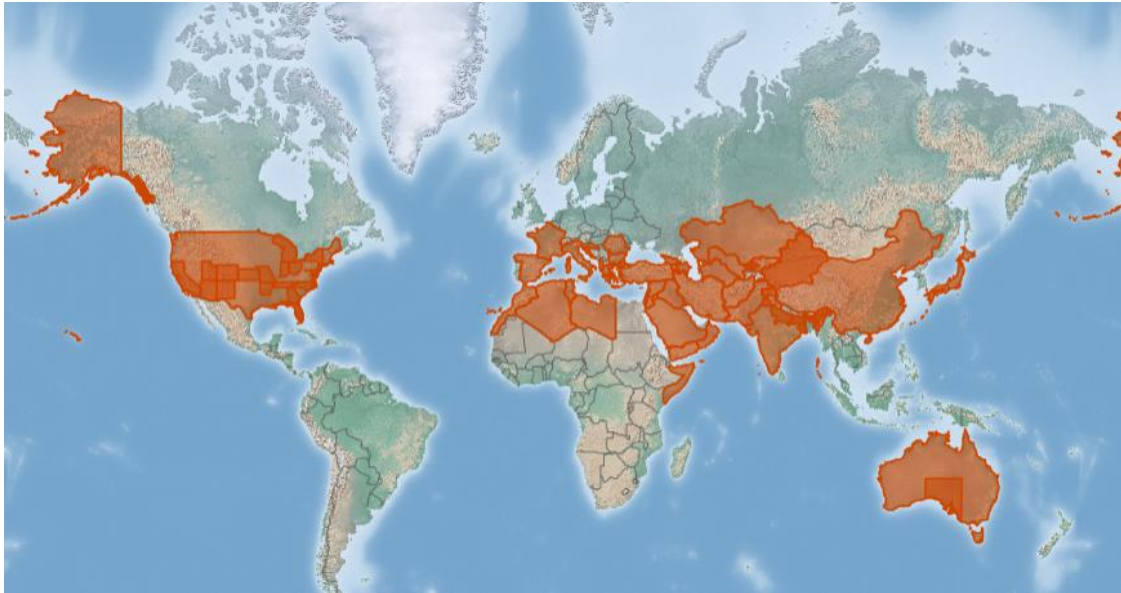


Figura 13. Distribución actual a nivel mundial de la especie *S. ravennae*. Fuente: cabidigitallibrary.org.

## Hábitat

Crece en terrenos húmedos en las ramblas, en los lechos pedregosos de los ríos, junto a los cursos de agua, en laderas o en arenales y lugares deprimidos con capa freática alta junto a la costa, desde el nivel del mar hasta unos 600 m de altitud, en las Islas Baleares y en las provincias de clima mediterráneo templado o cálido del este, centro y sur de la Península, además en una gran parte de las zonas cálidas del Viejo Mundo: regiones mediterráneas, irano-turánica y saharo-sindiana. También se puede localizar en depósitos detríticos de ríos, principalmente de los más grandes, entre cañaverales, carrizales y bosques de ribera, a veces en ambientes muy degradados y ruderalizados. Se cultiva a veces como planta ornamental (Holm *et al.*, 1997).



## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. ENSAYOS DE GERMINACIÓN

Las semillas fueron recolectadas en la zona de estudio en el marjal de Cullera, donde había una mayor disponibilidad de semillas para las dos especies. En el campo se han recogido las panículas y en el laboratorio se separaron cuidadosamente con pinzas las semillas de las glumas que las envolvían. Una vez limpias las semillas, se contaron y se anotó el número de semillas extraídas de cada especie. A continuación, se realizó un ensayo previo de germinación con el objetivo de comprobar la viabilidad de las semillas de las dos especies a estudiar.

Los ensayos de germinación se llevaron a cabo en placas Petri con algodón estéril y dos capas de papel de filtro, mantenidas en condiciones de 25°C y un fotoperiodo de 12 h en una cámara de germinación Equitec en las instalaciones de la ETSIAMN. Estas condiciones se han establecidas como óptimas para estas especies en estudios anteriores (Bacchetta *et al.*, 2010). Las semillas de cada especie se germinaron en presencia de distintas concentraciones de NaCl con el objetivo de ejercer un estrés osmótico e iónico y comprobar su tolerancia a estos niveles de salinidad. Los diferentes tratamientos se resumen en la Tabla 11. Para cada especie y cada tratamiento se han utilizado cuatro réplicas de 20 semillas por placa (n= 4).

Tabla 6. Detalle de los tratamientos llevados a cabo durante la fase de germinación.

TRATAMIENTO	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN/VOL. NaCl
1 (CONTROL)	Agua milliQ	0 mM
2	NaCl	100 mM
3	NaCl	200 mM
4	NaCl	300 mM

Los ensayos de germinación se extendieron a lo largo de 30 días, y cada dos días se comprobó el número de semillas germinadas en cada placa. Los resultados finales se transformaron en porcentajes de germinación para calcular la capacidad de germinación. Para estimar la velocidad de la germinación se utilizó el tiempo medio de germinación MGT (Mean Germination Time), calculado según la fórmula de Ellis and Roberts (1981):

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

Donde:

n = número de semillas germinadas cada día

d = número de días desde el inicio del ensayo

N = número total de semillas germinadas al final del experimento

MGT no se calculó si los porcentajes eran iguales o inferiores al 5%.

## **5.2. ANÁLISIS DE SUELOS**

De cada una de las dos localidades, donde aparecen simultáneamente las especies *C. selloana* y *S. ravennae*, se recogieron 3 muestras de suelo.

Previamente a los ensayos de las propiedades físicas y químicas del suelo, se tamizaron todas las muestras de manera que los análisis se realicen con elementos finos, menores de 2 mm de grosor. Los ensayos han sido realizados siguiendo la metodología según Llorca (1991).

### **PH DEL SUELO**

La medición del pH del suelo se realizó mediante el procedimiento de pH en agua, para ello fue necesario un pH-metro. Se pesaron 10 gramos de las muestras de suelo y se añadieron 25 mL de agua destilada. Se agitaron con agitador magnético durante diez minutos. Tras esto se introdujeron en la solución los electrodos del pH-metro, calibrados previamente con las soluciones tampón.

### **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) DEL SUELO**

Mediante la medición de la conductividad eléctrica del suelo se consiguen unas medidas las cuales reflejan la salinidad del suelo, factor abiótico limitante. Se preparó una solución en proporción 1:5 y se estuvo agitando mediante un agitador magnético durante media hora, posteriormente se dejó reposar durante unos minutos. Finalmente, mediante un conductímetro se obtuvieron los valores de la CE del suelo.

### **TEXTURA DEL SUELO**

Para la determinación de la textura se ha empleado el método de Bouyoucos, con las modificaciones de Porta et al. (1986) Para ello, se pesaron 40 g de suelo en cápsulas de porcelana, después se añadieron 100 mL de solución de hexametafostato sódico y se dejó reposar durante 10 minutos. Posteriormente, se batió la mezcla en una batidora durante 5 minutos y se vertió en un vaso de precipitados de 1 L, completando hasta el litro con agua destilada. A continuación, se midió la densidad con el densímetro ASTM 152 H, de la American Society Testing Material, con escala en g/L. Las mediciones se realizaron cada 30 segundos, 60 segundos, después de 3, 10, 30, 90 minutos; al cabo de 8 horas, se realizó la última medición. Por último, se utiliza el diagrama triangular para la determinación de la textura clasificación U.S.D.A.

### **MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO**

Mediante el Método de Walkley-Black (1934) se ha llevado a cabo la determinación del carbono orgánico del suelo. El carbono orgánico se determina por un proceso de oxidación en un medio ácido. Se llevó una muestra de aproximadamente 1 gramo de suelo a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. A este suelo se le añadieron 10 mL de dicromato potásico 1 N y se movió el matraz para dispersar el suelo en la solución, a continuación, y en una campana extractora de humos, se le añadieron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se deben mezclar los componentes agitando vigorosamente durante 1 minuto y se deja enfriar durante unos 10 minutos. Después se

añadieron 50 ml de agua, y 2-3 gotas del indicador complejo ferroso ortofenantrolina y se valora el exceso de dicromato con sulfato ferroso 0,5 N.

En el punto final, la solución presenta un cambio de coloración de azul a rojo. Cuando se está aproximando a este cambio (punto de viraje) la solución va cambiando su coloración de un color verdoso a un verde oscuro antes de ser completamente roja.

Con los valores del volumen de sulfato ferroso 0,5 N empleados se consigue obtener el porcentaje de carbono orgánico del suelo mediante la siguiente ecuación:

$$\%C.O. = \frac{\text{meq } K_2Cr_2O_7 - \text{meq } FeSO_4}{\text{gramos suelo seco}} \cdot 0,003 \cdot 100 \cdot 1,3$$

## CARBONATOS

El carbono inorgánico se encuentra en el suelo en forma de carbonatos. Para su cuantificación, se pesaron 0,5 g de tierra fina y se vertieron en un matraz Erlenmeyer, en el que se introdujo un tubo de vidrio que contenía 5 mL de HCl diluido en agua (1:1). El matraz se inclinó y agitó para permitir que el ácido clorhídrico reaccionara con la tierra y, transcurridos 30 segundos, se midió el nivel de la columna manométrica desplazada en el calcímetro Bernard.

## 5.3. ANÁLISIS QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS DEL MATERIAL VEGETAL

Estos análisis se llevaron a cabo en material foliar recogido en el campo a la vez con las muestras de suelo. De cada especie y cada localidad se cogieron muestras de entre 5 y 10 individuos.

### ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE PROLINA

El contenido de prolina (Pro) se cuantificó utilizando material foliar fresco según el método de ninhidrina-ácido acético de Bates *et al.* (1973). La prolina se extrajo en ácido sulfosalicílico acuoso al 3%, el extracto se mezcló con solución de ninhidrina ácida, se incubó durante una hora a 95°C, se enfrió en hielo y luego se extrajo con dos volúmenes de tolueno. La absorbancia del sobrenadante se midió en un espectrofotómetro (falta modelo) a 520 nm, utilizando tolueno como blanco.

### ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE IONES

Los contenidos de iones se determinaron en material foliar seco, después de ser diluidos en extractos acuosos según el protocolo de Weimberg (1987), calentando las muestras (0,05 g de material vegetal seco y molido en 15 ml de agua) durante 15 min a 95 °C en un baño de agua, seguido de filtración a través de un filtro de 0,45 µm. Los cationes Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> biodisponible se cuantificaron con un fotómetro de llama PFP7 (Jenway Inc., Burlington, VT, EE.UU.). Los cationes bivalentes se cuantificaron por espectrometría de absorción atómica (modelo: Varian SpectraAA 220), para el Ca<sup>2+</sup> a 239,9 nm y para el Mg<sup>2+</sup> a 202,6 nm.

## 5.4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos se analizaron con el programa Statgraphics Centurion XVII (Statgraphics Technologies, The Plains, VA, EE.UU.). Para los ensayos de germinación el número de réplicas coincide con el número de placas de cada especie por tratamiento (n= 4). Previo al análisis de varianza se ha efectuado una transformación arcoseno de los datos porcentuales. En el caso del material vegetal muestreado en campo, todos los valores medios se basan en 5-10 réplicas biológicas, mientras que, para los suelos, el número de réplicas realizadas es de 3. Para todos los parámetros analizados se ha efectuado un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de confianza del 95%. y las comparaciones post hoc del test HSD de Tukey, también a un nivel de  $p < 0,05$ . El análisis de componentes principales (PCA) se ha llevado a cabo con los valores medios de los parámetros edáficos y los químicos y bioquímicos de las plantas.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. ENSAYOS DE GERMINACIÓN

A continuación, se muestran los porcentajes promedio del éxito germinativo de las semillas de las especies estudiadas, así como el tiempo medio de germinación MGT (Mean Germination Time), en las condiciones que han sido sometidas.

La especie *Cortaderia selloana* responde de una manera muy llamativa a las concentraciones salinas a las cuales han sido sometidas las semillas de ésta en el ensayo de germinación. Esta respuesta se refleja en altos porcentaje de germinación, que se mantienen durante los dos primeros tratamientos, disminuyendo la germinación un poco menos de un 30% para una concentración salina de 200 mM NaCl. En presencia de una concentración de 300 mM NaCl, se observa un descenso muy acusado de la germinación en comparación al tratamiento anterior, reduciéndose más de un 70 % el éxito germinativo de las semillas. El tiempo medio de germinación va aumentando de forma progresiva a medida que aumenta la concentración de sal.

Tabla 7. Porcentajes finales de germinación y tiempo medio de germinación (MGT) en la especie *Cortaderia selloana* en los tres tratamientos con duración de 30 días. Los valores indicados representan medias  $\pm$  SE (n = 4). Letras diferentes indican variación significativa entre los tratamientos según el test de Tukey (P < 0,05).

Tratamiento	Germinación (%)	MGT (días)
Control	95,0 $\pm$ 2,04a	5,6 $\pm$ 0,9a
100 mM NaCl	92,5 $\pm$ 3,23a	8,3 $\pm$ 0,5a
200 mM NaCl	66,25 $\pm$ 7,47b	15,4 $\pm$ 1,6b
300 mM NaCl	13,75 $\pm$ 5,15c	21,1 $\pm$ 3,1c

En la Figura 14 se muestra de manera gráfica la reducción del éxito de germinación según la concentración de sales a la que se exponen las semillas, así como el retraso progresivo de la germinación en el tiempo en función de las diferentes concentraciones de sales presentes.

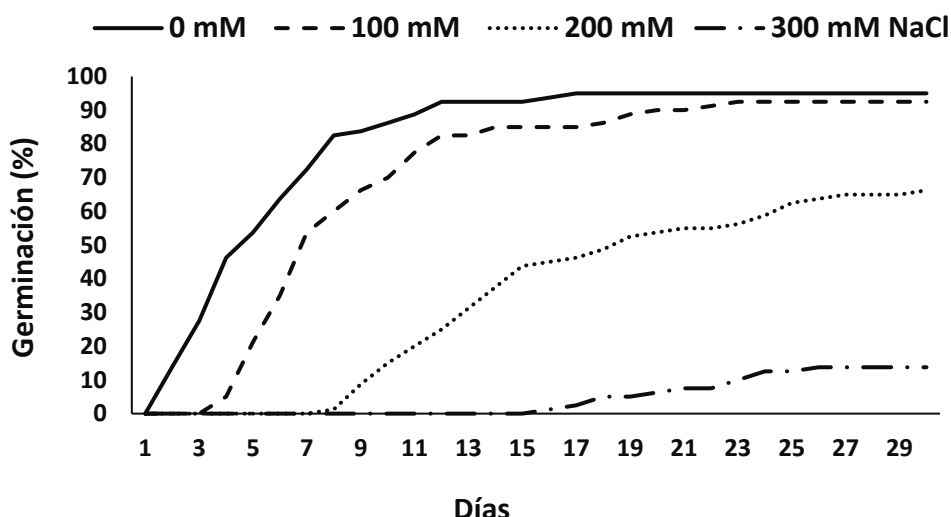


Figura 14. Evolución de la germinación de semillas de *Cortaderia selloana* durante 30 días en presencia de varias concentraciones de NaCl.

En el caso de *S. ravennae* se puede observar como el valor máximo de éxito germinativo se alcanza en el tratamiento control (91,25 %), valor a partir del cual desciende bruscamente el éxito germinativo según aumenta la concentración de NaCl. Del tratamiento control a la concentración de 100 mM de NaCl el éxito germinativo disminuye más de un 50 %, entre este último tratamiento y la concentración de 200 mM de NaCl, la germinación se reduce en un 90 %, hasta la completa inhibición (0 % de éxito de germinación) en el tratamiento de 300 mM de NaCl. En ausencia de NaCl, en el tratamiento control de ambas especies parten de un MGT prácticamente idéntico de 5,6, pero el tiempo medio de germinación aumenta más en el tratamiento con 100 mM NaCl en esta especie que en la anterior, llegando a un valor medio de más de 12 días. Para el resto de los tratamientos los valores del MGT no han sido calculados por presentar un porcentaje de germinación inferior al 5 %.

Tabla 8. Porcentajes finales de germinación y tiempo medio de germinación (MGT) en la especie *Saccharum ravennae* en los tres tratamientos con duración de 30 días. Los valores indicados representan medias  $\pm$  SE (n = 4). Letras diferentes indican variación significativa entre los tratamientos según el test de Tukey (P < 0,05).

Tratamiento	Germinación (%)	MGT (días)
Control	91,25 $\pm$ 1,25a	5,6 $\pm$ 1,1a
100 mM NaCl	42,5 $\pm$ 1,44b	12,7 $\pm$ 2,6b
200 mM NaCl	4,08 $\pm$ 1,02c	-
300 mM NaCl	-	-

En la Figura 15 se muestra la evolución de la germinación de las semillas de *S. ravennae* en las diferentes concentraciones de NaCl. Se observa una reducción de la germinación en presencia de sal mucho más acentuada que en el caso de las semillas de *C. selloana*, llegando incluso a inhibirse por completo en el tratamiento de 300 mM NaCl.

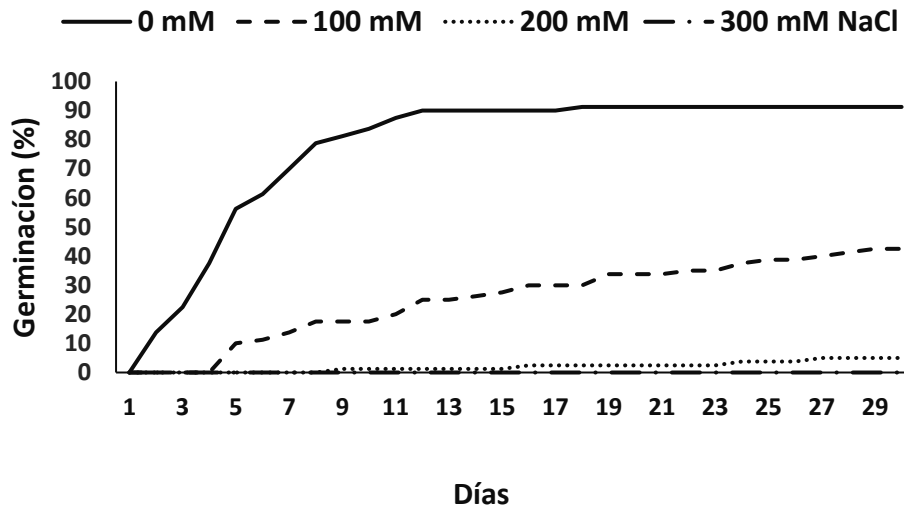


Figura 15. Evolución de la germinación de semillas de *Saccharum ravennae* durante 30 días en presencia de varias concentraciones de NaCl.

El éxito germinativo es fundamental para que la propagación y la ocupación de nichos ecológicos por parte de las plantas que se reproducen por semillas y la expansión de su rango de distribución sea efectiva (Donohue *et al.*, 2010; Gioria & Pyšek, 2017). La producción abundante de semillas con alto vigor y éxito de germinación es distintiva de las especies con potencial invasor; estas características favorecen su establecimiento inicial en nichos desocupados y reducen la competencia interespecífica (Badalamenti *et al.*, 2016; Gioria & Pyšek, 2017). La capacidad de las especies invasoras para germinar en una amplia gama de nichos ecológicos se ha atribuido a su tolerancia a un amplio espectro de condiciones ambientales adversas (Wainwright & Cleland, 2013; Skálová *et al.*, 2019). Los informes que documentan dicho potencial de germinación aumentan continuamente como parte de la evaluación de riesgos necesaria para su gestión (Tietze *et al.*, 2019; Bellache *et al.*, 2022). Los ambientes áridos son particularmente vulnerables y potencialmente afectados por la colonización de especies exóticas e invasoras, más aún, considerando el escenario de cambio climático actual.

La Figura 16 muestra una comparación de los porcentajes de éxito de germinación de los ensayos para las dos especies, siendo *C. selloana* claramente más tolerante que *S. ravennae* en todos los tratamientos con soluciones salinas aplicadas a las semillas. La diferencia entre los porcentajes de germinación de las dos especies se acentuó a medida que aumentaba la concentración de NaCl, llegando a la inhibición total de la germinación en el tratamiento con NaCl 300 mM en la especie *S. ravennae*. La marcada mayor tolerancia a la salinidad que se observa en el éxito de germinación de *C. selloana* en condiciones de estrés salino puede conducir a un desplazamiento de la especie autóctona *S. ravennae* por la especie invasora, ya que, en las mismas condiciones, las semillas de *C. selloana* son capaces de germinar mejor.

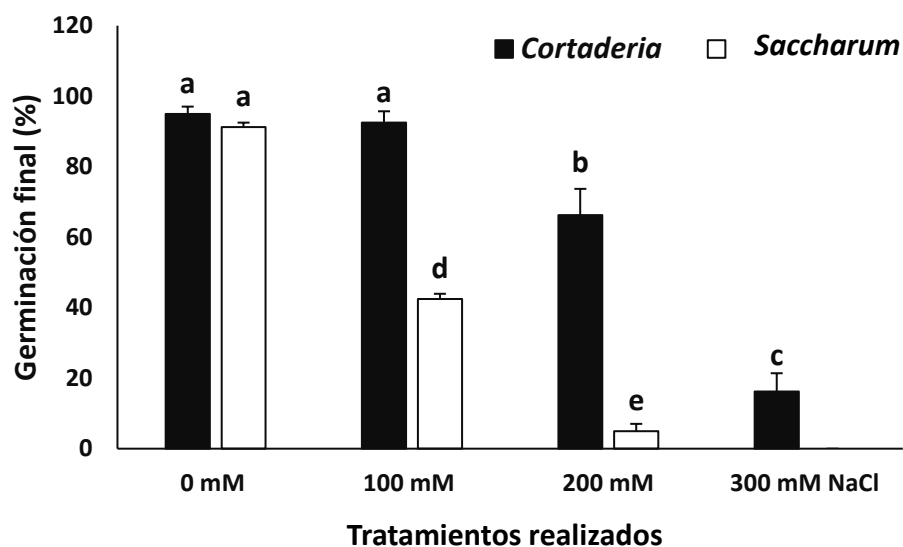


Figura 16. Porcentaje final de la germinación de semillas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae*. Medias  $\pm$  SE (n = 4). Letras diferentes indican variación significativa entre los tratamientos según el test de Tukey (P < 0,05).

## 6.2. ANÁLISIS DE SUELOS

Como se ha indicado en el apartado de *Metodología*, se han analizado varias propiedades de diferentes muestras de los suelos dónde se desarrollan las especies de interés. Los resultados de los análisis efectuados se muestran de forma sintética en la Tabla 14.

Tabla 9. Características edáficas en las zonas de muestreo de las dos especies en las dos localidades. Medias  $\pm$  SE (n = 3). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05). % MO = porcentaje de materia orgánica.

Pobl.	pH	Conductividad (dS/m)	Textura	% MO	CaCO <sub>3</sub>
Cullera	8,29 $\pm$ 0,19	1,13 $\pm$ 0,09b	Franca	2,65 $\pm$ 0,60a	31,2 $\pm$ 1,44b
Gandía	8,50 $\pm$ 0,12	1,68 $\pm$ 0,15a	Franco-arenosa	0,76 $\pm$ 0,12b	35,23 $\pm$ 2,17a

Los resultados obtenidos indican que en ambas localizaciones los suelos son claramente básicos o alcalinos, con un rango medio de pH que oscila desde 8,29 en el marjal de Cullera hasta 8,50 en el marjal de Gandía.

Los valores de conductividad eléctrica son muy similares dentro de una misma zona de muestreo con pocas diferencias entre zonas. Se puede destacar que la zona de Gandía presenta unos valores algo más elevados que Cullera, lo que podría deberse a que la zona de muestreo de Gandía se encuentra más próxima al mar que la zona de Cullera, lo que haría que los suelos del marjal de Gandía sean algo más salinos que en Cullera.

En cuanto a la textura, las muestras de Cullera muestran una textura franca, mientras que las de Gandía, resultan ser de textura franco-arenosa. La textura del suelo tiene efecto en la capacidad de retención de agua útil para las plantas, así como de nutrientes, por tanto, los suelos con texturas finas tienen una elevada tasa de retención de agua y materia orgánica en comparación con texturas más gruesas. Además, los suelos con una textura gruesa, como es el

caso de los suelos arenosos, el espacio entre los poros permite la oxigenación aumentando la velocidad de descomposición y por lo tanto empobreciendo los suelos (Thompson & Troeh, 1988). Esto se puede ver en las muestras de Cullera, las cuales presentan una textura algo más fina que Gandía, presentando unos porcentajes de materia orgánica en el suelo mayores que las muestras de los suelos del marjal de Gandía, aun así, se puede observar que el % C.O. puede variar dentro de una misma zona.

Respecto al contenido de carbonatos, las tres muestras de suelo de cada localidad presentan unos porcentajes en torno al 20-40% de  $\text{CaCO}_3$ , siendo la media en Cullera de 31,2 % y en Gandía del 35,23 %. Este tipo de suelos, con unos niveles muy alto de carbonatos, según la escala típica en España, son comunes en zonas litorales (Yanez, 1989).

### 6.3. ANÁLISIS QUÍMICOS Y BIOQUÍMICOS DEL MATERIAL VEGETAL

La prolina es uno de los osmolitos (solutos compatibles) más comunes en las plantas, cuya concentración aumenta en condiciones de estrés, sobre todo relacionado con el equilibrio osmótico (Szabados & Savoué, 2010). La prolina hace disminuir el potencial osmótico y también protege estructuras macromoleculares contra la deshidratación ya que se une por el lugar amino a las proteínas y deja el lugar carboxílico para interactuar y rodearse de moléculas de agua por puentes de hidrógeno. Cuando las plantas crecen en condiciones óptimas la prolina se encuentra en pequeñas cantidades. En condiciones de estrés, el contenido de prolina aumenta para actuar como un agente osmótico, protegiendo a la planta de la deshidratación. Muchas especies de plantas acumulan elevadas concentraciones de prolina libre en respuesta a la salinidad (Jiménez-Bremont *et al.*, 2006; Tajdoost *et al.*, 2007), sequía (Avendaño *et al.*, 2005) y frío (Konstantinova *et al.*, 2002).

En la Figura 17 se observa que la especie con mayores niveles de prolina es *C. selloana*, alcanzando la mayor concentración en la zona de Gandía, donde la conductividad eléctrica del sustrato es ligeramente mayor que en el marjal de Cullera.

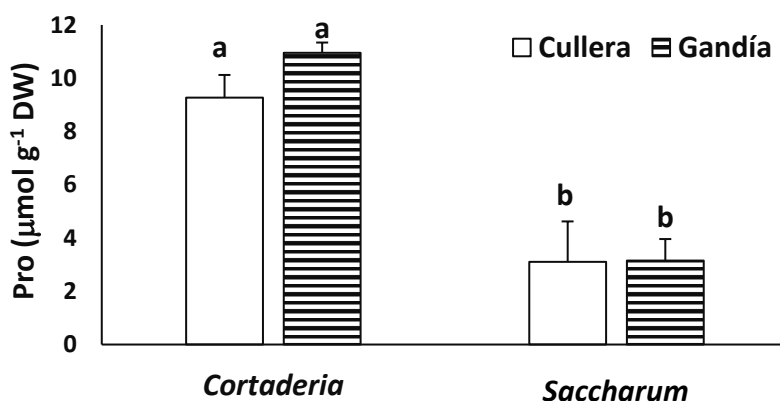


Figura 17. Concentración de prolina en la parte aérea de plantas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae* recogidas en dos localidades en el campo. Medias  $\pm$  SE (n = 10). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05).

El hecho de que la especie *C. selloana* presente una mayor acumulación de prolina que *S. ravennae* nos muestra la alta capacidad de adaptación de esta primera especie a ambientes con



condiciones ambientales más estresantes, en este caso concreto con mayor salinidad. Esta alta capacidad de adaptación le permite establecerse en diferentes ecosistemas, pudiendo desplazar a las especies autóctonas de estos ecosistemas, mucho más especialistas y en caso de *S. ravennae* con un rango menor de tolerancia la salinidad que *C. selloana*.

En cuanto al análisis de las concentraciones de los diferentes cationes en el material vegetal recolectado de ambas especies en las dos localidades estudiadas, podemos observar en la Figura 18, como la especie *S. ravennae* presenta una mayor concentración de  $\text{Na}^+$  en ambas localidades, existiendo una gran diferencia entre las poblaciones de Cullera y Gandía. En la última, con una salinidad más elevada, la concentración foliar de  $\text{Na}^+$  aumenta en *S. ravennae*, pero baja en *C. selloana*, indicando la reducción del transporte de este catión tóxico en concentraciones elevadas en la especie invasora. La reducción de la absorción de  $\text{Na}^+$  y su transporte a nivel foliar es un mecanismo fundamental de halotolerancia en plantas monocotiledóneas (Rozema, 1991).

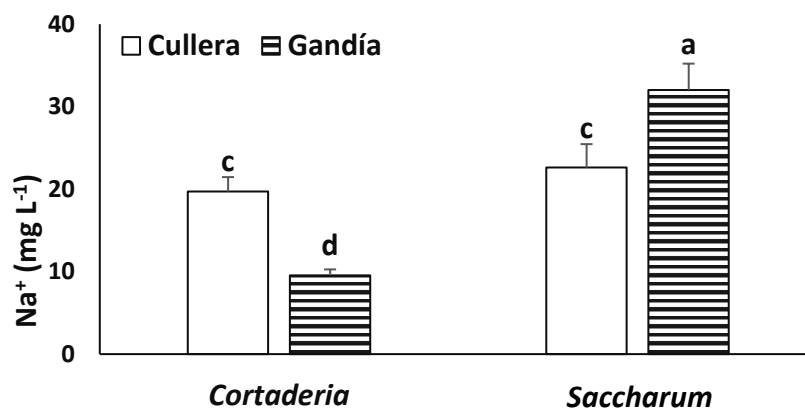


Figura 18. Concentración de cationes monovalentes ( $\text{Na}^+$ ) en la parte aérea de plantas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae* recogidas en dos localidades en el campo. Medias  $\pm$  SE (n = 10). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05).

Respecto a las concentraciones de cationes de  $\text{K}^+$ , en la Figura 19 podemos ver como las concentraciones de este catión para ambas especies en la localidad de Cullera presentan prácticamente los mismos valores, a diferencia de lo que sucede entre las especies en Gandía, donde la especie *S. ravennae* presenta una concentración ligeramente mayor de este catión que la especie *C. selloana*.

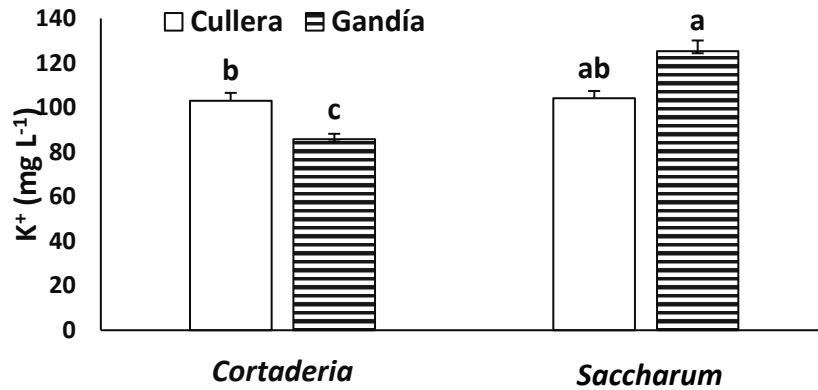


Figura 19. Concentración de cationes monovalentes (K<sup>+</sup>) en la parte aérea de plantas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae* recogidas en dos localidades en el campo. Medias ± SE (n = 10). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05).

Las concentraciones del catión bivalente Ca<sup>2+</sup> (Figura 20) en el material vegetal recolectado muestra unos valores muy similares para ambas especies en la localidad de Cullera, a diferencia de lo que ocurre en Gandía, donde la especie *C. selloana* presenta unas concentraciones mayores de este catión que la especie *S. ravennae*.

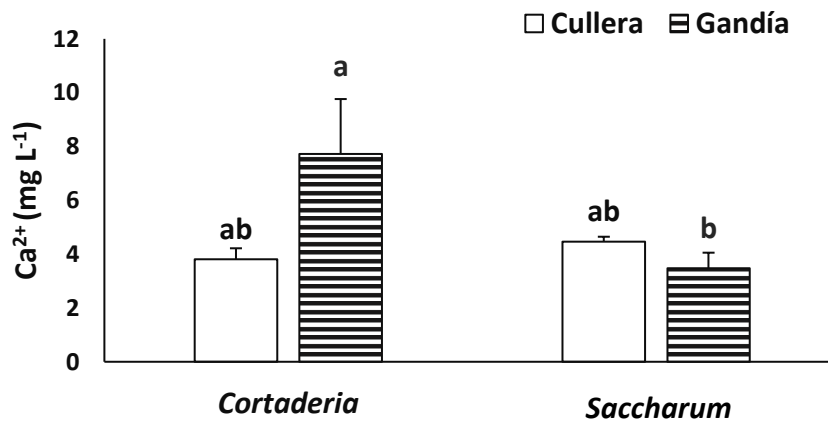


Figura 20. Concentración de cationes bivalentes (Ca<sup>2+</sup>) en la parte aérea de plantas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae* recogidas en dos localidades en el campo. Medias ± SE (n = 10). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05).

Los valores de las concentraciones de Mg<sup>2+</sup> (Figura 21) se muestran ligeramente mayores para la especie *C. selloana* en las poblaciones de Cullera, sin embargo, en Gandía estos valores son muy similares para las dos especies estudiadas.

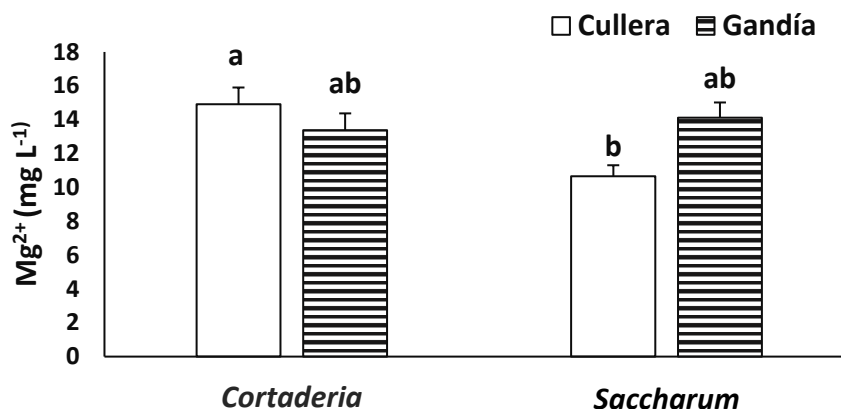


Figura 21. Concentración de cationes bivalentes ( $Mg^{2+}$ ) en la parte aérea de plantas de *Cortaderia selloana* y *Saccharum ravennae* recogidas en dos localidades en el campo. Medias  $\pm$  SE (N = 10). Letras diferentes indican variación significativa entre las zonas según el test de Tukey (P < 0,05).

En los suelos salinos el catión más abundante y tóxico es el  $Na^+$ , el cual provoca diferentes alteraciones en el metabolismo de las plantas. Un exceso de  $Na^+$  puede impedir la asimilación y el transporte nutricional de otros iones como son el  $K^+$  y el  $Ca^{2+}$ . El  $Ca^{2+}$  es necesario para mantener la funcionalidad de las membranas en las plantas y como cofactor de varios enzimas. Así pues, el  $Na^+$  desplaza al  $Ca^{2+}$  de las membranas de las células, interrumpiendo la funcionalidad de las membranas celulares (Cramer et al., 1989; Rengel, 1992). Sin embargo, el  $Ca^{2+}$  puede actuar como un elemento protector contra concentraciones salinas elevadas o contra otros iones con potencial tóxico. Los resultados de los análisis de este catión muestran unos niveles muy similares para ambas especies en Cullera, pero esta concentración aumenta significativamente para *Cortaderia* en el marjal de Gandía. Esto puede deberse a que la mayor salinidad que encontramos en Gandía estimule la absorción de este catión para mantener la funcionalidad de las membranas celulares (Cramer et al., 1989; Rengel, 1992).

Otra dificultad que tienen las plantas que crecen en suelos salinos es la obtención de potasio necesario para su correcto desarrollo. Esto sucede debido a que, por un lado, los iones de sodio compiten con la captación de  $K^+$  por medio de un mecanismo de baja afinidad y, por otro lado, lo más usual es que las concentraciones de  $K^+$  en los suelos sean mucho más bajas que las de  $Na^+$ . Por todo ello, la presencia de  $Ca^{2+}$  es muy necesaria, ya que, si hay suficiente calcio, el sistema de captación que prefiere el transporte de  $K^+$  funciona correctamente, de forma que las especies vegetales pueden obtener potasio suficiente y limitar la captación de sodio (La Haye & Epstein, 1969).

En cuanto a los cationes de  $K^+$ , los resultados muestran la competencia entre los cationes de  $Na^+$  y  $K^+$  dentro de las células. Así pues, se puede ver como para la especie *S. ravennae* que acumula más cantidad de  $Na^+$  que *C. selloana*, la cantidad de  $K^+$  es mayor para poder mantener el funcionamiento correcto del sistema de transporte de iones, ya que, como ya se ha comentado, existe una afinidad de este sistema hacia los cationes de  $K^+$  (La Haye & Epstein, 1969), por lo que *S. ravennae* necesita incorporar una concentración mayor de  $K^+$  para que este sistema funcione correctamente.

Diferentes estudios ponen de manifiesto que el catión  $\text{Ca}^{2+}$  protege a las membranas celulares contra los efectos nocivos que provoca el catión  $\text{Na}^+$ , manteniendo así la funcionalidad de la membrana y, disminuyendo al máximo la pérdida de  $\text{K}^+$  del citosol (Cramer *et al.*, 1985, 1986, 1988).

Por otro lado, aunque el magnesio es uno de los minerales disponibles más abundantes en la Tierra, es muy propenso a lixiviarse porque los iones  $\text{Mg}^{2+}$ , la única forma disponible de Mg para la absorción de las plantas, tienen el radio hidratado más grande en comparación con otros cationes divalentes (Chen *et al.*, 2018, Vyshpolsky *et al.*, 2008). El contenido de Mg en la célula vegetal afecta el metabolismo celular, impactando varios parámetros fenotípicos y fisiológicos. El exceso de  $\text{Mg}^{2+}$  celular conduce a la sustitución de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , provocando un deterioro en la estabilidad de la pared celular y la permeabilidad de la membrana celular (Marschner *et al.*, 1996, Marschner, 2011).

Los resultados obtenidos tras analizar las concentraciones del catión  $\text{Mg}^{2+}$  reflejan unas concentraciones muy similares entre especies en el marjal de Gandía, lo que estaría relacionado con el mantenimiento de las funciones metabólicas de las plantas, especialmente a nivel celular, donde este catión interviene en la estabilidad de la pared celular y la permeabilidad de la membrana celular. Así pues, en un suelo más salino como es el del marjal de Gandía, las especies presentarán una mayor acumulación de  $\text{Mg}^{2+}$  para poder hacer frente a los efectos nocivos de las sales en el organismo.

#### **6.4. ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)**

Para entender mejor los resultados obtenidos en su conjunto se ha efectuado un análisis de componente principales (PCA), un análisis multivariante muy empleado en este tipo de estudios. El PCA representado en la Figura 22 se ha efectuado con todos los parámetros analizados en el suelo y el material vegetal muestreado en campo. Se puede apreciar cómo se separan las dos zonas edáficas, Gandía con mayor conductividad eléctrica y carbonatos (CE) y Cullera con mayor materia orgánica (MO).

En cuanto a las especies, estas se separan sobre todo en la zona de Gandía, de mayor salinidad, donde *Cortaderia* presenta mayor concentración de prolina y de  $\text{Ca}^{2+}$  en sus partes aéreas que *Saccharum*. En la zona de Cullera, donde la salinidad es más reducida, los valores de los parámetros medidos en las dos especies no se dispersan tanto. Este análisis multivariante revela una respuesta diferente de las dos especies en condiciones de incremento de la salinidad, la especie *C. selloana* disponiendo de mecanismos eficientes de mitigar el efecto de la salinidad por el incremento de la síntesis de prolina y absorción de calcio y una disminución de la acumulación de  $\text{Na}^+$  en sus tejidos foliares.

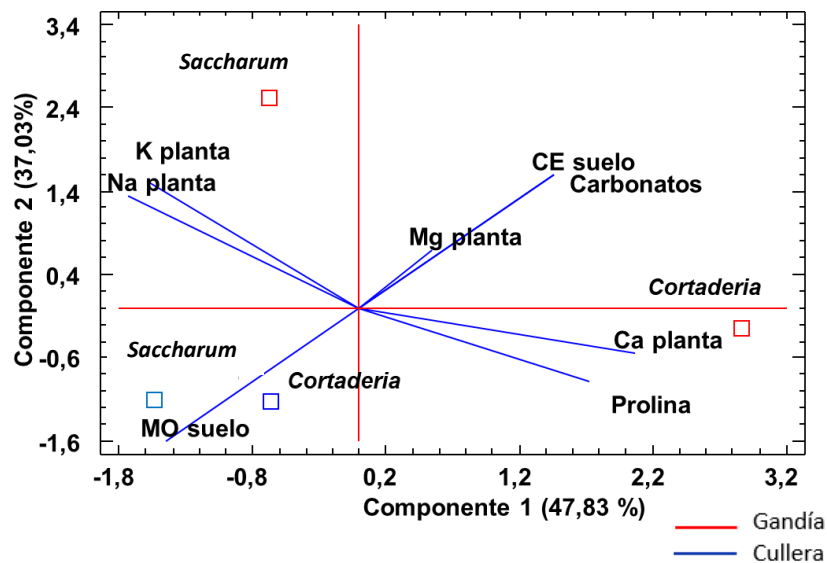


Figura 22. Análisis de Componente Principales (PCA) con los valores medios de los parámetros medidos en suelo y en material vegetal.

## 7. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos durante el trabajo de laboratorio y su posterior análisis, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Ambas especies presentan un éxito germinativo similar en el tratamiento Control, pero a medida que aumenta la salinidad, la germinación se ve seriamente afectada, reduciéndose los valores del éxito germinativo principalmente en la especie autóctona *S. ravennae*. De este modo, se puede apreciar como las semillas de la especie *C. selloana* presentan un mayor rango de tolerancia a la salinidad que las semillas de *S. ravennae*.
- Los suelos de las dos localidades estudiadas presentan similitudes en varios de los parámetros analizados (pH, textura,  $\text{CaCO}_3$ ), sin embargo, los suelos del marjal de Gandía presentan una mayor CE, y por tanto mayor salinidad, y un menor contenido de materia orgánica que los suelos de Cullera. Esto hace que se incrementen las dificultades para la germinación, principalmente para la especie *S. ravennae*, beneficiándose la especie invasora *C. selloana*.
- La especie *S. ravennae* es más especialista en sus condiciones de desarrollo que la especie *C. selloana*, y esto se ve reflejado en la baja concentración de prolina en los tejidos vegetales analizados. Por tanto, en caso de perturbaciones sobre el ecosistema de estas poblaciones, la especie *C. selloana* presenta una mayor capacidad de adaptación que la especie nativa *S. ravennae*.

- La mayor presencia de acumulación de calcio en *C. selloana* le permiten reducir los efectos nocivos que tiene el sodio en el organismo vegetal, incrementando la asimilación del potasio, haciendo que esta especie sea más resistente a la salinidad que la especie *S. ravennae*.
- En el marjal de Gandía, localidad con mayor grado de salinidad en suelo, la especie *C. selloana* presenta unas concentraciones mayores tanto de prolina como de calcio, en comparación con *S. ravennae* en la misma localidad. Por contrario, la concentración de Na<sup>+</sup> a nivel foliar en *Cortaderia* es menor. Así pues, la especie invasora dispone de mecanismos bioquímicos más eficientes en respuesta al exceso de salinidad del suelo que la especie autóctona.
- El conjunto de los resultados revela que la especie *C. selloana* es mucho más competitiva y resistente en condiciones de estrés salino que la especie *S. ravennae*, lo que puede llevar al desplazamiento e incluso desaparición de la especie nativa y otras propias de los espacios estudiados por la acción de la especie invasora. Este hecho podría derivar en un desequilibrio del ecosistema natural que encontramos en ambos marjales.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVENDAÑO, C.H., TREJO, C., LÓPEZ, C., MOLINA, J. D., SATACRUZ, A., CASTILLO, F. (2005). Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Interciencia* 30(9): 79–91.

BACCHETTA, G., DETTORI, C. A., MASCIA, F., MELONI, F., PODDA, L. (2010). Assessing the potential invasiveness of *Cortaderia selloana* in Sardinian wetlands through seed germination study', *Plant Biosyst.* 144: 3, 518 527.

BADALAMENTI, E., MILITELLO M., LA MANTIA T., GUGLIUZZA G. (2016). Seedling growth of a native (*Ampelodesmos mauritanicus*) and an exotic (*Pennisetum setaceum*) grass. *Acta Oecol.* 77: 37–42.

BATES L.S., WALDREN, R.P., TEARE, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39:205–207.

BELLACHE, M. MOLTÓ, N.; BENFEKIH, L.A.; TORRES-PAGAN, N.; MIR, R.; VERDEGUER, M.; BOSCAIU, M.; VICENTE, O. (2022). Physiological and biochemical responses to water stress and salinity of the invasive moth plant, *Araujia sericifera* Brot., during seed germination and vegetative growth. *Agronomy* 12: 361.

CHEN Z.C., PENG W.T., LI, J., LIAO, H. (2018). Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. *Cell Develop. Biol.* 74: 142–152.

CLEMENTS D. R., DITOMMASO, A. (2011). Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research* 51(3): 227–240.

- CRAMER G.R., LÄUCHLI A., POLITO V.S. (1985). The displacement of  $\text{Ca}^{2+}$  by  $\text{Na}^+$  from plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? *Plant Physiol.* 79: 207–211.
- CRAMER G.R., LÄUCHLI A., EPSTEIN E. (1986). Effects of NaCl and  $\text{CaCl}_2$  on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. *Plant Physiology.* 81: 792 – 797.
- CRAMER G.R., LYNCH J., LÄUCHLI A. & EPSTEIN E. (1987). Influx of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , and  $\text{Ca}^{2+}$  into roots of salt-stressed cotton seedlings. Effects of supplemental  $\text{Ca}^{2+}$ . *Plant Physiol.* 83: 510 – 516.
- CRAMER G., EPSTEIN E., LÄUCHLI A. (1989). Na-Ca interactions in barley seedlings: relationship to ion transport and growth. *Plant Cell Environ.* 12: 551 – 558.
- GENUA A., ALCARAZ C., CAIOLA N., IBAÑEZ C. (2016). Sea level rise impacts on rice production: The Ebro Delta as an example. *Sci. Total Environ.* 11.
- GRZĘDZICKA E. (2023). Assessment of habitat selection by invasive plants and conditions with the best performance of invasiveness traits. *Diversity* 15(3):333. <https://doi.org/10.3390/d15030333>
- DONOHUE K., DE CASAS R.R., BURGHARD, L., KOVACH K., WILLIS C.G. (2010) Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 41: 293–319.
- ELLIS RA, ROBERTS EH (1981). The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Sci Technol* 9:373–409.
- GIORIA M., PYŠEK P. (2017) Early bird catches the worm: Germination as a critical step in plant invasion. *Biol. Invasions.* 19: 1055–1080.
- GRACIA C., SABATÉ S., LÓPEZ B. y SÁNCHEZ A. (2001). Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global. Zamora R. y Pugnaire F.I. (eds.). Aspectos funcionales de los ecosistemas mediterráneos. CSIC-AEET, Granada, 351 – 352.
- HERRERO J., PÉREZ-COVETA O. (2005). Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district. *Geoderma* 125: 287–308.
- HOLM L., DOLL J., HOLM E., PANCHO J., HERBERGER J., (1997). World weeds: natural histories and distribution. Wiley-Blackwell, 1129 pp.
- IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647).
- JIMÉNEZ-BREMONT J.F., BECERRA-FLORA A., HERNÁNDEZ-LUCERO E. ET AL. (2006). Proline accumulation in two bean cultivars under salt stress and the effect of polyamines and ornithine. *Biol. Plant.* 50: 763–766.
- JUMP A. S., PENUELAS J. (2005). Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecol. Lett.* 8(9): 1010–1020.
- KONSTANTINOVA T., PARVANOVA D., ATANASSOV A., DJILIANOV D. (2002). Freezing tolerant tobacco, transformed to accumulate osmoprotectants. *Plant Science.* 163: 157–164.

- LAHAYE P.A., EPSTEIN E. (1969). Salt toleration by plants: enhancement with calcium. *Science*. 166 (3903): 395-6. doi: 10.1126/science.166.3903.395.
- LLORCA, R. (1991). *Prácticas de Edafología*. Departamento de Química ETSIA, SPUPV-91.672, Valencia.
- MARSCHNER H., KIRKBY E.A., ÇAKMAK I. (1996). Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *J. Exp. Bot.* 47: 1255–1263.
- MARSCHNER, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*; Academic Press: Cambridge, MA, USA.
- MARTÍN-SERRANO, A., DÍAZ DE NEIRA J. A., MOLINERO MOLINERO, R. GÓMEZ SAINZ DE AJA, J. A. (2011). Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Prebética y campo tabular del campo de Daimiel (Zona-1800). Mapa Geológico Digital continuo de España.
- MGIDI T.N., MAITRE D.C LE, SCHONEGEVEL L., NEL J.L., ROUGET M., RICHARDSON D.M. (2007). Alien plant invasions - incorporating emerging invaders in regional prioritization: a pragmatic approach for Southern Africa. *J. Environ. Manage.* 84:173–187.
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA (2018). Estrategia de gestión, control y posible erradicación del plumero de la pampa (*Cortaderia selloana*) y otras especies de *Cortaderia*. Gobierno de España. 35 pp.
- MOLLOT G., PANTEL J.H., ROMANUK T.N. (2017). Chapter Two - The Effects of Invasive Species on the Decline in Species Richness: A Global Meta-Analysis, Editor(s): David A. Bohan, Alex J. Dumbrell, François Massol, *Advances in Ecological Research*, Academic Press, Volume 56, pp 6 – 83, <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2016.10.002>.
- MOONEY H.A., CLELAND E.E. (2001). The evolutionary impact of invasive species. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2001 May 8;98(10):5446–51. doi: 10.1073/pnas.091093398.
- PARSONS W.T., CUTHBERTSON E.G. (2001). *Noxious weeds of Australia*. Melbourne, Australia: Inkata Press, 698 pp.
- PORTA J., LÓPEZ-ACEVEDO M., RODRÍGUEZ-OCHOA, R. (1986). *Técnicas y experimentos de Edafología*. Col. Oficial d'Enginyers Agrònoms. Barcelona.
- RENGEL Z. (1992). The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ.* 15: 625–632.
- RIVAS MARTÍNEZ S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000*. 268 pp. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. ISBN 84-85496-25-6.
- ROZEMA J. (1991). Growth, water and ion relationships of halophytic monocotyledonae and dicotyledonae; a unified concept. *Aquat Bot.* 39:7–33.
- SHRIVASTAVA, P., y KUMAR, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.* 22(2): 123 – 131.
- SKÁLOVÁ H., MORAVCOVÁ L., CUDA J., PYŠEK P. (2019) Seed-Bank dynamics of native and invasive impatiens species during a five-year field experiment under various environmental conditions. *NeoBiota*. 50: 75–95.



- SOIL SURVEY STAFF (2014). Illustrated guide to soil taxonomy. U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.
- SZABADOS L., SAVOURÉ A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends Plant Sci.* 15(2): 89-97.
- TAJDOOST S., FARBOODNIA T. AND HEIDARI R. (2007). Salt pretreatment enhance salt tolerance in *Zea mays* L. Seedlings. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10: 2086–2090.
- THOMAS C D., CAMERON A., GREEN R.E., BAKKENES M., BEAUMONT L.J. et al. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970): 145–148.
- THOMPSON L.M., TROEH F.R. (1988). Los suelos y su fertilidad. Ed. Reverté. 4ª Edición
- TIETZE H.S.E., JOSHI J., PUGNAIRE F.I., DE SÁ DECHOUM M. (2019). Seed germination and seedling establishment of an invasive tropical tree species under different climate change scenarios. *Austral Ecol.* 44: 1351–1358.
- VALDÉS CASTRILLÓN B., TALAVERA LOZANO S., Y FERNÁNDEZ GALIANO E. (COORD.) (1987). Flora vascular de Andalucía Occidental. Barcelona: Ketres Editora S.A.
- VALLADARES, F., VILAGROSA, A., PEÑUELAS, J., OGAYA, R., CAMARERO, J.J., CORCUERA, L., SISÓ, S. y GIL-PELEGRIN, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: Valladares F. (ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 163 – 190.
- VALLADARES ROS, F. PEÑUELAS, J. y LUIS CALABUIG, E. (2005). Impactos sobre los ecosistemas terrestres, en: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Proyecto ECCE - Informe Final*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente: 65 – 112.
- VYSHPOLSKY F., QADIR, M., KARIMOV, A., MUKHAMEDJANOV, K., BEKBAEV, U., PARODA, R., KARAJEH, F. (2008). Enhancing the productivity of high-magnesium soil and water resources in Central Asia through the application of phosphogypsum. *Land Degrad. Develop.* 19: 45–56.
- WAINWRIGHT C.E., CLELAND E.E. (2013) Exotic species display greater germination plasticity and higher germination rates than native species across multiple cues. *Biol. Invasions.* 15: 2253–2264.
- WALKLEY A., BLACK I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251–263.
- WEIMBERG R. (1987). Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. *Physiol. Plant.* 70: 381–388. doi: 10.1111/j.1399-3054.1987.tb02832.x
- YÁÑEZ JIMÉNEZ, J. (1989). Análisis de suelos y su interpretación. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros.* 49: 75 – 89.
- ZEDLER, J. B., AND KERCHER, S. M. (2004). Causes and consequences of invasive plants in wetlands: opportunities, opportunists, and outcomes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 431–452. doi:10.1080/07352680490514673

ZULOAGA F.O., MORRONE O., BELGRANO M.J. (2008). Monographs in Systematic Botany. USA: Missouri Botanical Garden Press, 3348 pp.

### **PÁGINAS WEB COSULTADAS**

CABI (2024). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompndium.11872> (Consultada en marzo de 2024).

DAISIE (2009). Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe. <http://www.europe-aliens.org/index.jsp> (Consultada en marzo de 2024).

MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/biodiversidad-y-cambio-climatico.html> (Consultada en octubre de 2023).

INSTITUT CARTOGRÀFIC VALENCIÀ: <https://icv.gva.es/es/> (Consultada octubre 2023)

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL: <https://www.ign.es/web/ign/portal> (Consultada octubre 2023)

INSTITUTO VALENCIANO DE INVESTIGACIONES AGRÁRIAS (IVIA): <https://ivia.gva.es/es/> (Consultada enero 2024)

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME): <https://www.igme.es/> (Consultada febrero 2024)

VIBRANS, H. (2009). *Cortaderia selloana*. Malezas de México. CONABIO. México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/cortaderia-selloana/fichas/ficha.htm> (Consultada en marzo de 2024).