



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 las respuestas germinativas en especies de  
plantas exóticas con potencial invasor en la Comunidad  
Valenciana

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural

AUTOR/A: Blasco Giménez, Lorena

Tutor/a: Boscaiu Neagu, Mónica Tereza

Director/a Experimental: MIRCEA, DIANA MARIA

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

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



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**“Evaluación de las respuestas germinativas en especies de plantas  
exóticas con potencial invasor en la Comunidad Valenciana”**

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

Grado en Ingeniería Forestal y del Medio  
Natural

Autora: **Lorena Blasco Giménez**

Tutora: **Mónica Tereza Boscaiu Neagu**

Directora experimental: **Diana Maria Mircea**

**Valencia, Julio 2023**

## Resumen

Las plantas invasoras suponen una gran amenaza para la biodiversidad, especialmente en las actuales condiciones climáticas, al tener mayor capacidad de adaptación que las plantas autóctonas a situaciones ambientales inestables, inducidas por el calentamiento global.

El objetivo de este trabajo es comprobar la capacidad de germinación de algunas especies invasoras a diferentes niveles de estrés salino y estrés osmótico, que simulan las condiciones ambientales que pueden surgir como consecuencia del cambio climático.

Cuatro de las especies analizadas son invasoras en la Comunidad Valenciana y figuran en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras: *Ipomoea purpurea*, *Nicotiana glauca*, *Mirabilis jalapa* y *Leucaena leucocephala*. Con fines comparativos se han incluido en el trabajo dos especies que no son invasoras en nuestro territorio: *I. tricolor* y *N. tabacum*.

Los ensayos de germinación se realizaron colocando las semillas sobre papel de filtro en placas Petri dentro de una cámara de germinación a temperaturas óptimas para este proceso. Las semillas de los tratamientos de control fueron germinadas en agua destilada y en cuanto a los tratamientos para inducir estrés salino y estrés osmótico, se realizaron soluciones de concentraciones iso-osmóticas de NaCl y de PEG 6000 (Polietilenglicol), el cual utilizado para la simulación del estrés hídrico en los ensayos de germinación. respectivamente. Se efectuaron un total de nueve tratamientos: un control; cuatro concentraciones de NaCl, de 50, 100, 200 y 400 mM y cuatro concentraciones de PEG equivalentes a las de sal, para conseguir los potenciales osmóticos de -0.22, -0.44, -0.88 y -1.76 MPa, monitoreando la germinación cada dos días durante tres semanas. Por cada tratamiento se realizaron cuatro réplicas (placas) en cada especie. Los parámetros analizados han sido el porcentaje y la velocidad de germinación, que a su vez, han permitido el cálculo de varios índices de germinación.

Todas las especies analizadas tuvieron porcentajes de germinación cercanos al 100% en el control, salvo *Nicotiana glauca* y *N. tabacum*. A mayores concentraciones de NaCl y PEG la velocidad de germinación y crecimiento de las plántulas se ve ralentizada. Los potenciales osmóticos menores reducen tanto la germinación como el desarrollo de las plántulas. En todas las especies analizadas ha sido mayor el efecto de las concentraciones iso-osmóticas de PEG que las de NaCl. Los resultados obtenidos dejan constancia del gran potencial invasor de las dos especies de *Ipomoea* y *Leucaena leucocephala*, al tener una rápida y muy alta germinación en términos de porcentajes incluso en condiciones de estrés. Es destacable la tolerancia a la salinidad de estas tres en la fase de germinación, lo que indica que se tiene que tomar mayor precaución en relación a su presencia en zonas costeras, donde pueden competir con especies autóctonas de interés para su conservación.

### Palabras clave:

*Especies invasoras; semillas, germinación; estrés salino; estrés osmótico.*

## Abstract

Invasive plants pose a great threat to biodiversity, especially under current climatic conditions, since they have a greater capacity to adapt than native plants to unstable environmental situations induced by global warming.

The aim of this work is to test the germination capacity of some invasive species at different levels of salt stress and osmotic stress, which simulate the environmental conditions that may occur as a consequence of climate change.

Four of the species analyzed are invasive in the Valencian Community and are included in the Spanish Catalog of Invasive Alien Species: *Ipomoea purpurea*, *Nicotiana glauca*, *Mirabilis jalapa* and *Leucaena leucocephala*. For comparative purposes, two species that are not invasive in our territory have been included in the study: *I. tricolor* and *N. tabacum*.

Germination tests were performed by placing the seeds on filter paper in Petri dishes inside a germination chamber with optimal temperatures for this process. The seeds of the control treatments were germinated in distilled water. For the salt stress and osmotic stress were used solutions of iso-osmotic concentrations of NaCl and respectively PEG 6000 (Polyethylene glycol), the latter used to simulate water stress. A total of nine treatments were carried out: a control; four NaCl concentrations of 50, 100, 200 and 400 mM and four PEG concentrations equivalent to those of salt, to achieve osmotic potentials of -0.22, -0.44, -0.88 and -1.76 MPa, monitoring germination every two days for three weeks. For each treatment, four replicates (plates) were made for each species. The parameters analyzed were germination percentage and germination speed, which allowed the calculation of several germination indices.

All the species analyzed had germination percentages close to 100% in the control, except *Nicotiana glauca* and *N. tabacum*. At higher concentrations of NaCl and PEG the rate of germination and seedling growth is slowed. Lower osmotic potentials reduced both germination and seedling development. In all the species analyzed, the effect of iso-osmotic concentrations of PEG was greater than that of NaCl. The results obtained show the great invasive potential of the two species of *Ipomoea* and *Leucaena leucocephala*, which have a very high germination rate in terms of percentages even under stress conditions. The salinity tolerance of these three species in the germination phase is noteworthy, which indicates that greater caution should be taken in relation to their presence in coastal areas, where they can compete with native species of conservation interest.

### Key words:

*Invasive species; seeds; germination; salt stress; osmotic stress.*

## Agradecimientos

*A mi tutora y mi directora experimental, Mónica y Diana, por resolver cada duda siempre de forma tan cercana y ofrecer siempre su ayuda en la parte práctica realizando los cultivos conmigo.*

*A mis personas más cercanas, Nicolás Muñoz, Álvaro Fort y Pablo Queiruga, por sus horas invertidas encerrados conmigo en el laboratorio echándome una mano, cuando el trabajo y el agobio me superaba.*

*Por último, pero igual de importantes, a mis abuelos, Toni y Carmen, por siempre tener toda su confianza y apoyo puestos en mí y alegrarse por cada logro conseguido.*

## Índice:

1. Introducción	6
2. Objetivos	8
3. Material y métodos	9
3.1. Material vegetal	9
3.1.1. <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	9
3.1.2. <i>Ipomoea tricolor</i> Cav	9
3.1.3. <i>Nicotiana glauca</i> Graham	10
3.1.4. <i>Nicotiana tabacum</i> L.	11
3.1.5. <i>Mirabilis jalapa</i> L.	11
3.1.6. <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) de Witt	12
3.2. Metodología	13
4. Resultados	17
4.1. Comparación de la germinación en las dos especies de <i>Ipomoea</i> analizadas	17
4.2. Comparación de la germinación en las dos especies de <i>Nicotiana</i> analizadas	22
4.3. Patrones de germinación en <i>Mirabilis jalapa</i> L.	26
4.4. Patrones de germinación en <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Witt	28
5. Valoración del conjunto de los resultados	32
6. Conclusiones	36
7. Referencias bibliográficas	37

## 1. Introducción

A la hora de calificar una planta como invasora hay cierta controversia, pero en general, para que una especie se considere como tal, debe poseer y manifestar la capacidad de autoperpetuación de modo autosuficiente y debe ocasionar algún tipo de alteración en el ecosistema o comunidad donde se encuentre (Sanz et al., 2004). Una especie invasora (animal o vegetal) es aquella que tiene la capacidad de reproducirse y expandirse de forma natural, sin ayuda directa del ser humano, en ambientes tanto naturales como seminaturales, y que produce cambios significativos o perturbaciones en lo referido a la estructura, composición o funcionamiento de un ecosistema (Cronk & Fuller, 1995). Según autores más recientes, para que una especie sea considerada invasora, debe ser previamente naturalizada y, posteriormente, capaz de producir nuevas poblaciones reproductoras alejadas de la inicial, tanto en el espacio como en el tiempo, con independencia del grado de alteración del medio (Richardson et al., 2000).

La propagación de especies invasoras representa uno de los riesgos más importantes para la biodiversidad a escala mundial, exacerbada por la globalización y el cambio climático. Esto suele ser consecuencia de la introducción, tanto intencional como accidental, de especies exóticas en nuevos territorios, seguida de su naturalización y propagación en situación de decaimiento de las especies y ecosistemas autóctonos; entendiendo naturalización, como el proceso posterior a la introducción mediante el cual ha superado las barreras geográficas que de forma natural eran infranqueables (Richardson et al., 2000).

Las especies invasoras son muy problemáticas para las plantas amenazadas, representando la segunda mayor amenaza para la biodiversidad, superada únicamente por la pérdida de hábitats (Wilcove et al. 1998). Desde principios del siglo XXI, el 57% de las especies amenazadas se veían afectadas de forma negativa por competidores no autóctonos (Reichard et al. 2001), ya que las especies exóticas invasoras son grandes competidoras frente a las autóctonas: alteran redes tróficas, los niveles de nitrógeno (Castro-Díez & Alonso, 2017) y los ciclos hidrológicos (Catford, 2017), por tanto, perturban el funcionamiento de los ecosistemas y de los servicios que prestan (Vilà & Hulme, 2017).

La principal causa de invasiones de plantas, es la horticultura ornamental, ya que la mayoría de plantas exóticas invasoras, se han ido introduciendo activamente con fines ornamentales o de forma accidental (Hulme et al. 2018; Van Kleunen et al. 2010). Un factor determinante de la condición de invasoras potenciales, es la importancia económica, ya que al ser utilizadas con fines ornamentales, medicinales o culinarios entre otros usos, tienen mayor probabilidad de naturalización (Reichart & White, 2001; Van Kleunen et al., 2010).

Al seleccionar especies y genotipos de gran valor ornamental basándose en características que fomentan inadvertidamente la propagación, la horticultura podría promover las invasiones de plantas (Van Kleunen et al., 2010). Las características de este tipo de plantas, como su adaptabilidad al entorno, rápida germinación, profusión de la emergencia de plántulas, rápido desarrollo vegetativo, floración temprana o períodos de floración prolongados, son deseables en plantas ornamentales, por lo que aumenta el interés de su cultivo en este ámbito. Otros de los atributos que en muchas ocasiones se pueden encontrar en este tipo de plantas son: la producción de sustancias con efecto alelopático sobre la flora acompañante, la alta valencia ecológica que las capacita de habitar en un amplio rango de condiciones ambientales, la escasez de enemigos naturales, la rusticidad y capacidad para sobrevivir ante condiciones adversas o la existencia

afinidades climáticas entre la zona de origen de la especie y la región invadida (Sanz et al., 2004).

Por otro lado, las invasiones de plantas y el cambio climático están estrechamente relacionados (Dai et al., 2022), ya que el aumento de las temperaturas favorecerá el crecimiento de plantas ornamentales procedentes de zonas más cálidas, las cuales han sido introducidas en regiones templadas. Este factor, hará que les sea posible extenderse a nuevos hábitats (Bradley et al., 2010; Dullinger et al., 2017). Estas especies tendrán cierta ventaja frente a aquellas que se han visto obligadas a migrar como consecuencia del cambio climático (Van der Veken et al., 2008). Los cultivares tolerantes al estrés abiótico, ya son preferidos en el ámbito de la horticultura ornamental en algunas regiones que se encuentran en períodos de preparación para el cambio climático ocasionado por el calentamiento global (Bradley et al., 2011). Otro de los factores que favorece a las plantas invasoras en las nuevas condiciones ambientales, es su mayor plasticidad fenotípica, la cual ha sido señalada en gran cantidad de estudios comparativos sobre especies invasoras y no invasoras, taxonómicamente relacionadas (Richards et al., 2006; Zenni et al., 2014).

Cuatro de las especies analizadas están catalogadas en el Atlas de las plantas invasoras en España y están naturalizadas en la Comunidad Valenciana en diferentes tipos de hábitats, incluyendo zonas de alto valor ecológico como el Parque Natural de la Albufera.

La temática de este trabajo va estrechamente relacionada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 15 “Vida de los ecosistemas terrestres”, ya que este trata sobre la conservación y protección de la biodiversidad. Este objetivo pretende asegurar la conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas terrestres, además de detener la degradación de los suelos y la desertificación (Ministère de l’Europe et des Affaires étrangères, s. f., 2023).



## 2. Objetivos

Las especies invasoras destacan, entre otras características comunes, por su gran capacidad de adaptación a distintos ecosistemas y por sobrevivir a situaciones límite. El cambio climático está afectando gravemente a las plantas autóctonas, ya que estas se están viendo afectadas por el aumento de las temperaturas, de la sequía o de la salinidad en muchas regiones. Por otro lado, las plantas invasoras son grandes competidoras en situaciones límite, y por este motivo, una amenaza para las especies autóctonas. A medida que evoluciona el cambio climático, se favorece la expansión de las plantas invasoras, lo que conlleva una gran pérdida de biodiversidad.

El objetivo principal de este trabajo es comprobar la capacidad de algunas especies invasoras de germinar en diferentes condiciones de estrés salino y estrés osmótico. El ensayo pone a prueba la capacidad de germinación a altas concentraciones de NaCl, para inducir el estrés salino, y de PEG, para producir estrés osmótico.

Cuatro de las especies analizadas están incluidas en el Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España: *Nicotiana glauca*, *Ipomoea purpurea*, *Mirabilis jalapa* y *Leucaena leucocephala*. Las otras dos especies con las que se va a trabajar (*Nicotiana tabacum* e *Ipomoea tricolor*), no son invasoras en la Península Ibérica, pero han sido incluidas en el estudio a modo de material comparativo.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

1. Analizar la capacidad de germinación de las seis especies en condiciones de control (ausencia de estrés).
2. Comprobar el efecto del estrés salino sobre la germinación en un rango entre 50 mM y 400 mM de NaCl, en función de las especies.
3. Testar la capacidad de germinación en soluciones de PEG, iso-osmóticas a las salinas, en un intervalo de -0.22 MPa hasta -1.76 MPa.

En el caso de *Nicotiana glauca* los resultados se comparan con una especie de su mismo género, no invasora: *Nicotiana tabacum*; mientras que en el de *Ipomoea purpurea*, se compara con una especie de su mismo género, que únicamente resulta invasora en zonas muy puntuales: *Ipomoea tricolor*.

### 3. Material y métodos

#### 3.1. Material vegetal

##### 3.1.1. *Ipomoea purpurea* (L.) Roth

Esta especie, comúnmente llamada “campanilla morada” pertenece a la familia *Convolvulaceae*, originaria de América tropical, distribuida desde el norte de México y el sur de EE.UU. hasta Argentina y Uruguay. Fue introducida en España de forma intencionada para uso ornamental como cubridora de muros, vallas... Es una liana anual que puede alcanzar los 4 o 5 metros de longitud, con hojas enteras, acorazonadas, acuminadas en el ápice y de 5-15 cm de longitud. Las flores son solitarias o en cimas axilares, con una corola de color pùrpura, rosa o azul, enrollada en espiral después de la antesis (*Figura 1*). En su región de origen se considera mala hierba de los cultivos agrícolas. En el medio natural, el principal impacto causado por esta especie es la competencia con la vegetación natural. En ambientes cálidos y húmedos, la especie supera a las plantas nativas, invadiendo principalmente bosques ribereños, humedales y zonas costeras. Está incluida en el Catálogo de Especies Invasoras en España (Sanz et al., 2004).



*Figura 1. Ipomoea purpurea utilizada como ornamental en un balcón (Torrefiel, Valencia).*

##### 3.1.2. *Ipomoea tricolor* Cav.

*Ipomoea tricolor*, conocida como “gloria de la mañana” es una especie anual o perenne originaria de México y cultivada en climas templados de todo el mundo. Se trata de una herbácea de tallos trepadores, que alcanzan entre los 2 y los 4 metros de altura. Las hojas están dispuestas en espiral, con forma ovado-acorazonada y largos peciolo. Las flores tienen forma de “trompeta”, poseen un color azul a violeta con el interior blanco y el final amarillo (*Imagen 2*). La especie ha sido cultivada durante mucho tiempo en España y registrada como naturalizada en las últimas décadas del siglo XIX (Guilot, 2006). Aunque no es problemática como invasora, está incluida en el Compendio Mundial de Malezas (Randall, 2012), pese a que su riesgo es bajo. Por otro lado, la especie ha sido reportada como maleza en cultivos de lufa, leguminosas forrajeras, mango, okra y sorgo en México (Villaseñor & Espinosa, 1998) y recientemente se ha designado como naturalizada en

Turquía, además, se predice que su población se extenderá a las áreas cercanas al Mar Negro, Egeo, Mediterráneo y algunas partes del centro de Anatolia (Onen et al., 2023).



Figura 2. *Ipomoea tricolor* Cav. (Vivero de la Universitat Politècnica de València, Valencia).

### 3.1.3. *Nicotiana glauca* Graham

*Nicotiana glauca* o tabaco moruno, es originario de Argentina, Paraguay y Bolivia, perteneciente a la familia *Solanaceae*, incluida en el Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España. Se trata de un arbusto o pequeño árbol perennifolio, con corteza de color pardo-grisáceo que puede alcanzar hasta los 7 metros de altura. Las hojas son de ovadas a lanceoladas, de 5 a 25 cm de longitud, cubiertas de una capa de pruina de color blanco azulado, dispuestas alternas, pecioladas y desprenden un olor desagradable al partirlas. Las flores se disponen en panículas terminales, son de 3 a 4.5 cm de longitud, con el cáliz tubular, dividido en cinco lóbulos triangulares. La corola es de color amarillo, en forma de tubo estrecho y largo, ensanchada hacia el ápice. Las semillas son muy numerosas, diminutas y de color marrón a negro, con la testa reticulada (Sanz et al., 2004) (Figura 3).



Figura 3. *Nicotiana glauca* Graham (Torrefiel, Valencia).

Esta especie ha sido introducida en muchas regiones cálidas del mundo para uso ornamental. Se encuentra naturalizada en casi toda la cuenca mediterránea, Estados Unidos (Hawaii, California, Florida, etc.), México, Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, la India, Indonesia, etc. y actualmente es una especie altamente invasora, considerada mala hierba ambiental en numerosas regiones, incluido nuestro territorio, donde actualmente su presencia está aumentando (Sanz et al., 2004).

#### 3.1.4. *Nicotiana tabacum* L.

Esta planta, conocida como tabaco, es una especie de la familia *Solanaceae* originaria de Sudamérica, del noroeste de Argentina y Bolivia. Se trata de una hierba anual, bianual o perenne, glanduloso-pubescente, con tallos gruesos y erectos de hasta unos 3 metros de altura. Las hojas son de ovadas a elípticas hasta de 50 cm de longitud, con nervios muy marcados, de agudas a acuminadas en el ápice y atenuadas y decurrentes en la base a menudo con pecíolo alado; y el margen entero u ondulado. Las flores están reunidas en cimas paniculiformes, dispuestas sobre pecíolos y acompañadas de brácteas de lanceoladas a lineares. La corola es tubular-infundibuliforme, de hasta 7 cm de longitud, de color amarillento, verdoso o rosado, densamente pubescente por la parte externa con cinco lóbulos ovados y acuminados (Junta de Andalucía, 2010) (Figura 4).



Figura 4. *Nicotiana tabacum* L. (Fuente: El Rincón de Toshío).

Las hojas del tabaco tienen una larga tradición de uso como medicinales y se han utilizado como antiespasmódicas, diuréticas, narcóticas y sedativas. Esta planta contiene alcaloides como la nicotina que son altamente adictivas, así como otras sustancias cancerígenas, sin embargo, el uso de cigarrillos está ampliamente difundido en todo el mundo (Junta de Andalucía, 2010).

#### 3.1.5. *Mirabilis jalapa* L.

Esta especie que posee gran diversidad de nombres comunes (don Pedro, bella de noche, dondiego de noche...), es una especie perteneciente a la familia *Nyctaginaceae*, originaria de América tropical. Fue introducida primeramente en España, y posteriormente

por la mayor parte de Europa de forma intencionada como planta ornamental y medicinal. Es una planta herbácea, perenne, con la raíz tuberosa de hasta un metro de altura. Las hojas son ovadas, entre cinco y diez centímetros de longitud, acabadas en punta. Las flores son de apertura nocturna, comenzando desde el atardecer, de ahí algunos de sus nombres comunes, olorosas de color variable: blanco, rosa, amarillo, rojo, variegado... (Figura 5) Acumula diferentes sustancias en las hojas, que son capaces de inhibir el crecimiento de gran cantidad de microorganismos entre los cuales se encuentran los virus. Es por este motivo que el don Pedro es utilizado también en el ámbito de la farmacología (Sanz et al., 2004).

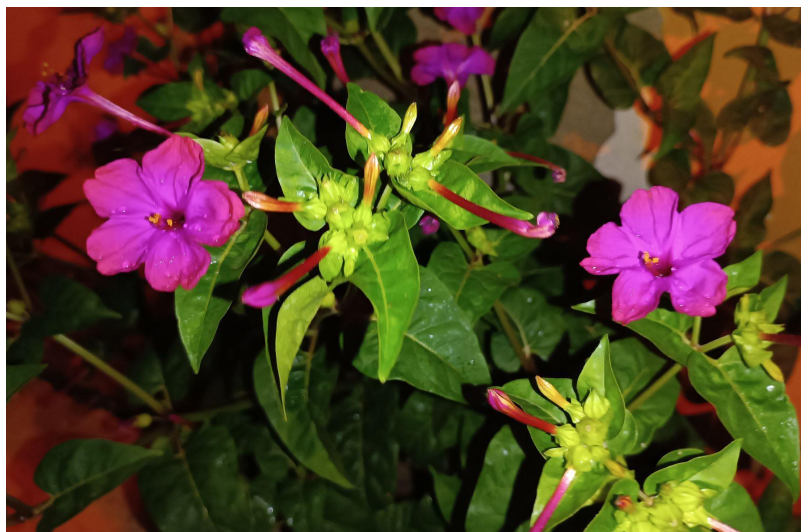


Figura 5. *Mirabilis jalapa* L. (Port Saplaja, Alboraya).

Actualmente, *M. jalapa* es una planta alóctona invasora en muchos países, como Sudáfrica, Australia, Estados Unidos, Nueva Zelanda, China, Japón, España, entre otros. En el caso de España, se encuentra estancada en zonas ruderales, no tiene un carácter invasor fuerte que suponga una gran amenaza para las especies autóctonas, sin embargo, no deja de ser una especie foránea que interfiere en los ecosistemas nativos, principalmente en los de origen antrópico (Sanz et al., 2004) como jardines o parques.

### 3.1.6. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt

La acacia pálida o “aromer blanc” es una especie de la familia *Fabaceae*, subfamilia *Mimosoideae*, de origen neotropical, distribuida de forma natural por Florida, Bermudas, Bahamas y América del Norte y Central. Esta planta, presente en el Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España, ha sido introducida en una gran mayoría de zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo, como ornamental y forrajera. En la actualidad, se encuentra naturalizada en prácticamente la totalidad de las regiones cálidas del planeta. Se trata de una especie de porte arbóreo, perenne, que puede alcanzar los 18 metros de altura. Las hojas son alternas bipinnadas y poseen de 3 a 10 pares de segmentos, cada uno con 10 a 22 folíolos oblongos a lanceolados. Las flores se caracterizan por ser de color crema, blanquecinas o rosadas, en cabezuelas densas, globosas, y agrupadas a su vez en racimos (Sanz et al., 2004) (Figura 6).



Figura 6. Flor de *Leucaena leucocephala* (Safranar, Valencia).

*Leucaena leucocephala* es una especie muy peligrosa para los ecosistemas, es invasora en la mayor parte de regiones tropicales, subtropicales y cálidas de todo el planeta. Posee alta tolerancia a los factores limitantes, lo que consigue que tenga gran éxito como invasora (Figuras 7 y 8). El impacto más importante en los ecosistemas que invade, es la desaparición por competencia de la vegetación natural. En general, bajo el dosel no suele haber otras especies vegetales, lo que indica la posible existencia de efectos alelopáticos (Sanz et al., 2004).



Figuras 7 y 8. *Acacia pálida* plantada de forma intencional y reproducida de forma accidental en un descampado (Safranar, Valencia).

### 3.2. Metodología

Para realizar los ensayos de germinación se utilizaron semillas de las especies descritas con anterioridad. Las semillas de *I. tricolor*, *I. purpurea* y de *M. jalapa*, son de origen comercial; las de *N. tabacum* y *N. glauca* provienen del Jardín Botánico de la

Universidad de Valencia y las de *L. leucocephala*, de una parcela privada en la urbanización Santo Espíritu, ubicada en el término municipal de Gilet (Valencia).

En placas Petri de 90 milímetros de diámetro, se colocaron dos discos de papel de filtro en la parte inferior con 2,5 mL de agua destilada (en el caso de los controles) y 2,5 mL de las soluciones de NaCl y PEG (Polietilenglicol 6000) correspondientes a los distintos tratamientos aplicados a las semillas; y dos discos en la parte superior humedecidos de la misma forma (Figura 9).

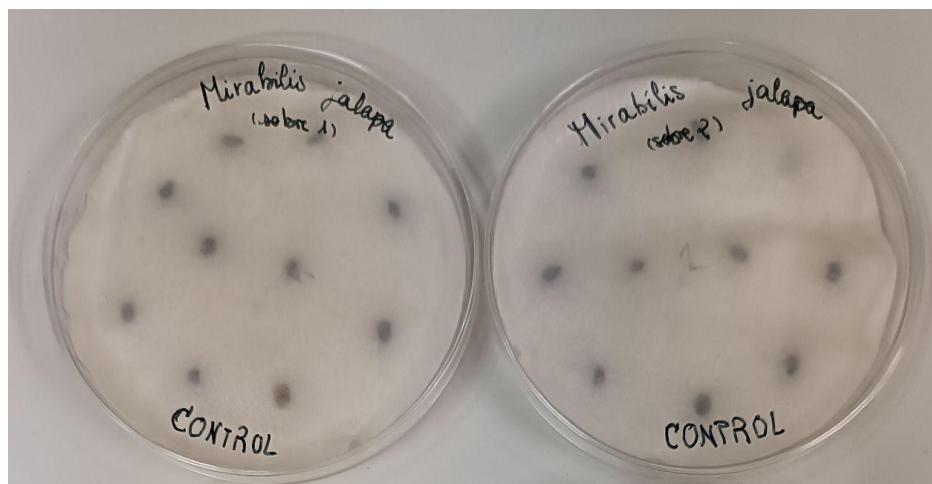


Figura 9. Cultivos con tratamiento de control de *Mirabilis jalapa*.

Los ensayos se realizaron con cuatro repeticiones de cada tratamiento por especie y nueve tratamientos, de los cuales, uno fue el control con agua destilada; cuatro fueron con 50 mM, 100 mM, 200 mM y 400 mM de NaCl y los restantes con las concentraciones iso-osmóticas de PEG equivalentes a los potenciales osmóticos de -0,22 MPa, -0,44 MPa, -0,88 MPa y -1,76 MPa, obteniendo su cálculo mediante la ecuación de Van't Hoff (Ben gal et al. 2009). Cada placa contenía 10 semillas de cada especie, salvo en las del género *Nicotiana*, en las cuales había 25 (Figura 10).

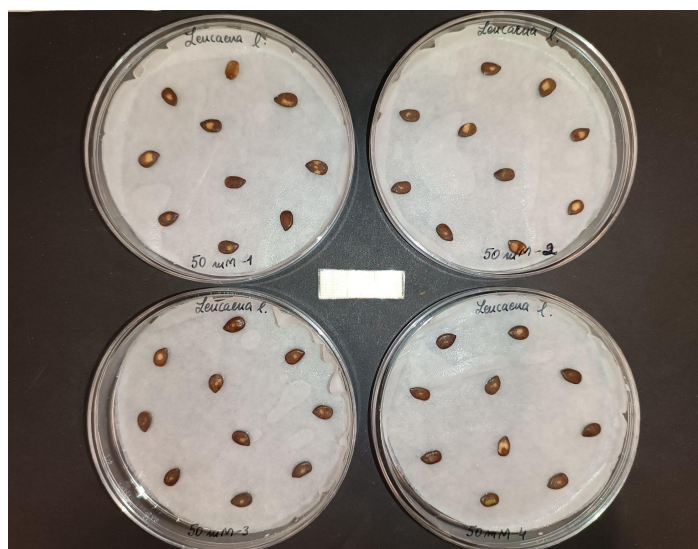


Figura 10. Placas Petri con las cuatro repeticiones de 50 mM de NaCl de *Leucaena leucocephala*.

Las semillas fueron desinfectadas previamente sumergiéndose 5 minutos en una disolución de 125 mL de lejía doméstica y 375 mL de agua destilada. En el caso de las semillas de *Leucaena leucocephala*, al observar que únicamente desinfectando no germinaban, se realizó un escarificado mecánico manual con lijas de grano grueso (Figuras 11 y 12).



Figuras 11 y 12. Escarificado mecánico manual con lijas (izquierda) y resultado de las semillas escarificadas (derecha).

Las placas se conservaban 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 (Figura 13). La duración de cada tratamiento fue de 21 días, haciendo revisiones cada dos días para contar el número de germinaciones, suponiendo la germinación como la aparición de radículas con longitud superior a 5 mm. Para evitar el secado de las placas, todas fueron selladas con parafilm.



Figura 13. Cámara de germinación utilizada vista por el exterior y por el interior.

En el caso de las semillas de *Nicotiana tabacum* y *Nicotiana glauca*, para realizar un mejor conteo en cada observación, fue necesario requerir de unos binoculares, ya que el tamaño de las semillas es muy pequeño y realizar la revisión a simple vista puede dar lugar a errores (Figura 14).





Figura 14. *Nicotiana tabacum* vista a través de binoculares.

Para obtener las conclusiones del ensayo, se realizaron los siguientes cálculos: la capacidad germinativa se expresó como porcentaje de germinación; la velocidad de germinación se obtuvo mediante T50 (día en el cual había germinado el 50% de las semillas totales germinadas); la longitud de la plántula se obtuvo mediante la suma de las longitudes del tallo y del hipocotilo, medidas a través del software Digimizer v.4.6.1 (MedCalc Software, Ostende, Bélgica, 2005-2016) (Figura 15).

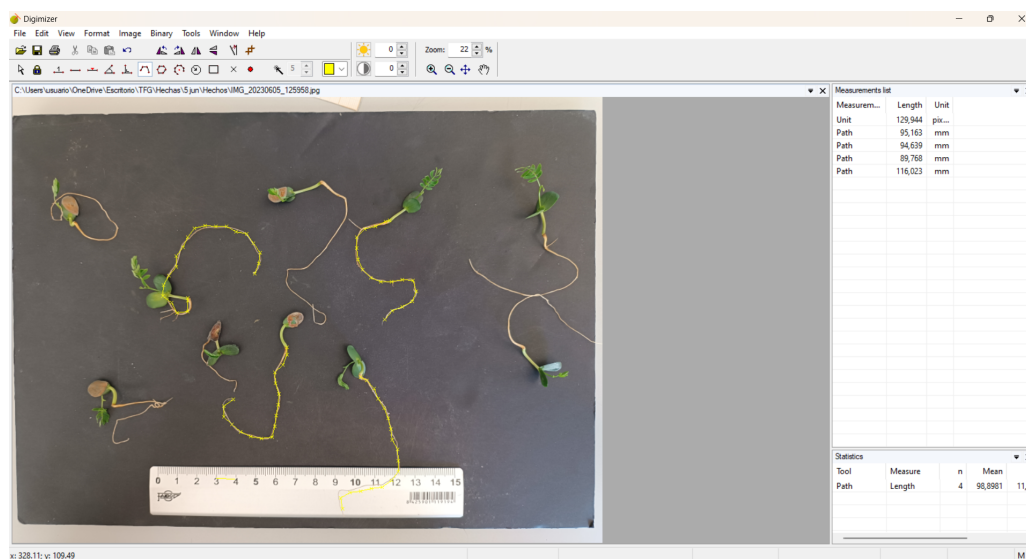


Figura 15. Captura del programa Digimizer v.4.6.1.

Además, se calcularon los índices FGD y LGD (primer y último día de germinación, respectivamente), TSG (dispersión temporal de la germinación resultado de la diferencia LGD-FGD), SE (velocidad de emergencia) y SVI (índice de vigor de la plántula) calculados mediante las fórmulas siguientes:

$$SE = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas el primer día de germinación}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas el último día de germinación}} * 100$$

$$SVI = \frac{\text{Longitud de la plántula (mm)} * \text{Porcentaje de germinación}}{100}$$

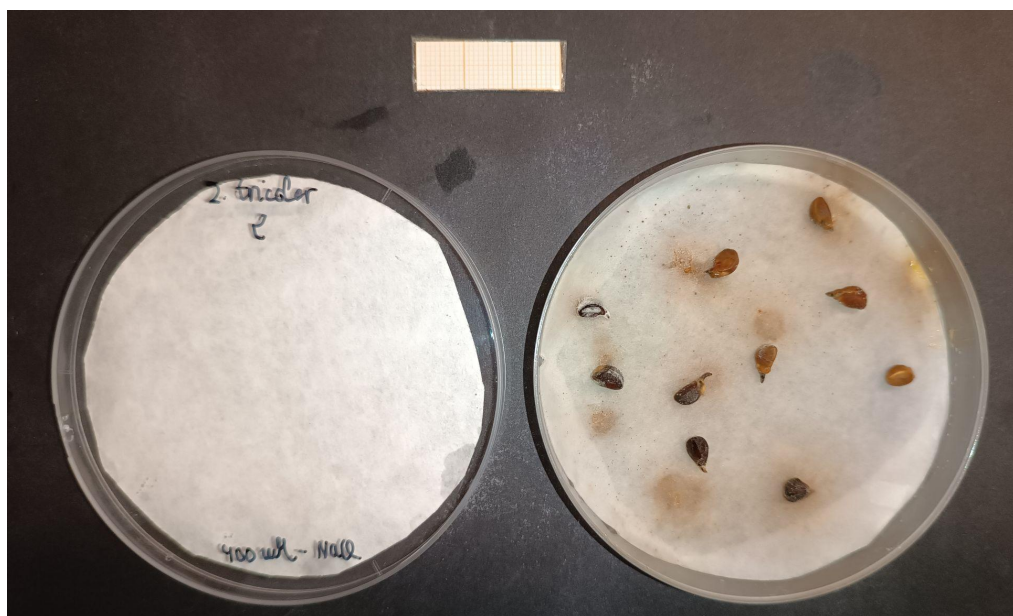
## 4. Resultados

Los ensayos realizados tuvieron una duración de tres semanas por tratamiento. Durante este período de tiempo, se fueron tomando datos del número de germinaciones días alternos. Al final de cada ensayo se tomaron fotos de todas las placas Petri, para poder medir las longitudes de radícula e hipocótilo con el Software Digimizer v.4.6.1. Mediante los datos tomados, se han podido obtener los resultados que se muestran a continuación.

### 4.1. Comparación de la germinación en las dos especies de *Ipomoea* analizadas

En el caso de *I. purpurea*, los resultados se comparan con los de *I. tricolor*, ya que esta segunda especie al no resultar invasora en la Península Ibérica, en este ensayo es utilizada a modo de referencia.

Las germinaciones en *I. purpurea* en el control y en tres tratamientos de NaCl (50 mM, 100 mM y 200 mM), sobrepasan el 90%, porcentaje muy elevado teniendo en cuenta que existen especies halófitas que no toleran niveles de sal tan altos. En el caso de la germinación con 400 mM de NaCl, al igual que en *I. tricolor*, aunque en algunas semillas se ha iniciado la germinación incluso a esta elevada concentración, la germinación se ha marcado como cero, ya que las semillas germinadas no eran viables, deteniéndose su desarrollo enseguida cuando la radícula aún no superaba los 3.5 mm (*Figura 16*). Conforme las concentraciones de NaCl aumentaban, se puede afirmar que las germinaciones comenzaban a producirse más tarde, sin embargo, el número final medio de semillas germinadas de cada tratamiento, es muy similar y se comprende en todos los casos, entre el 90 y el 100% (*Figura 17A*).



*Figura 16. Germinaciones en Ipomoea tricolor con una concentración de 400 mM de NaCl.*

En los tratamientos con PEG se apreció mayor diferencia en la velocidad de germinación entre tratamientos conforme aumentaba su concentración, y mayor diferencia entre estos en comparación con los de sal. Comparando el control, en el tratamiento de concentración más baja (-0.22 MPa), se observó que el número de germinaciones final medio, era muy similar, sin embargo, la velocidad de germinación se vio afectada: en el día

1 el porcentaje de germinación medio era del 75% en el control, mientras que el mismo día con la solución de PEG, el porcentaje de germinación medio era del 35%, menos de la mitad; no obstante, los porcentajes en el día 21, eran del 97.5% y 95%, respectivamente. En cuanto a los tratamientos de  $-0.44$  MPa y  $-0.88$  MPa, hubo gran diferencia en la velocidad de germinación: en el primero, el día 4 ya había germinado casi un 60%, mientras que en el segundo, el mismo día, la germinación media únicamente era del 10%; aun así, la germinación media final, solamente se diferenciaba en un 2.5%, siendo en ambos casos, mayor del 70%. Por último, con el tratamiento de  $-1.76$  MPa de PEG, no se observó ningún tipo de germinación (Figura 17B).

En el caso de *I. tricolor* las velocidades de germinación con NaCl fueron bastante similares, sin embargo, también se notó levemente la disminución de ésta al aumentar la concentración (Figura 17C). En el control y en los tres tratamientos de sal de concentraciones más bajas, las germinaciones finales resultaron todas entre el 90 y el 100% al igual que en *I. purpurea*. En cuanto a la germinación con 400 mM de NaCl, al igual que en la otra especie, se valora como cero, ya que las radículas no superaron los 3,5 mm de longitud

En los tratamientos con PEG, las velocidades de germinación de las concentraciones más bajas ( $-0.22$  MPa y  $-0.44$  MPa), son muy similares los primeros días, pero la de mayor concentración acaba por superar la de menor concentración, sin embargo, acaban por tener únicamente una diferencia del 2.5% en la germinación final. En lo que se refiere a la concentración equivalente a  $-0.88$  MPa, la velocidad de germinación es muy similar a la de *I. purpurea* una vez aparecen las primeras germinaciones, aunque tardan más en aparecer; sin embargo, la germinación final es un 12.5% mayor. Finalmente, en el tratamiento de  $-1.76$  MPa, no hubo germinaciones (Figura 17D).

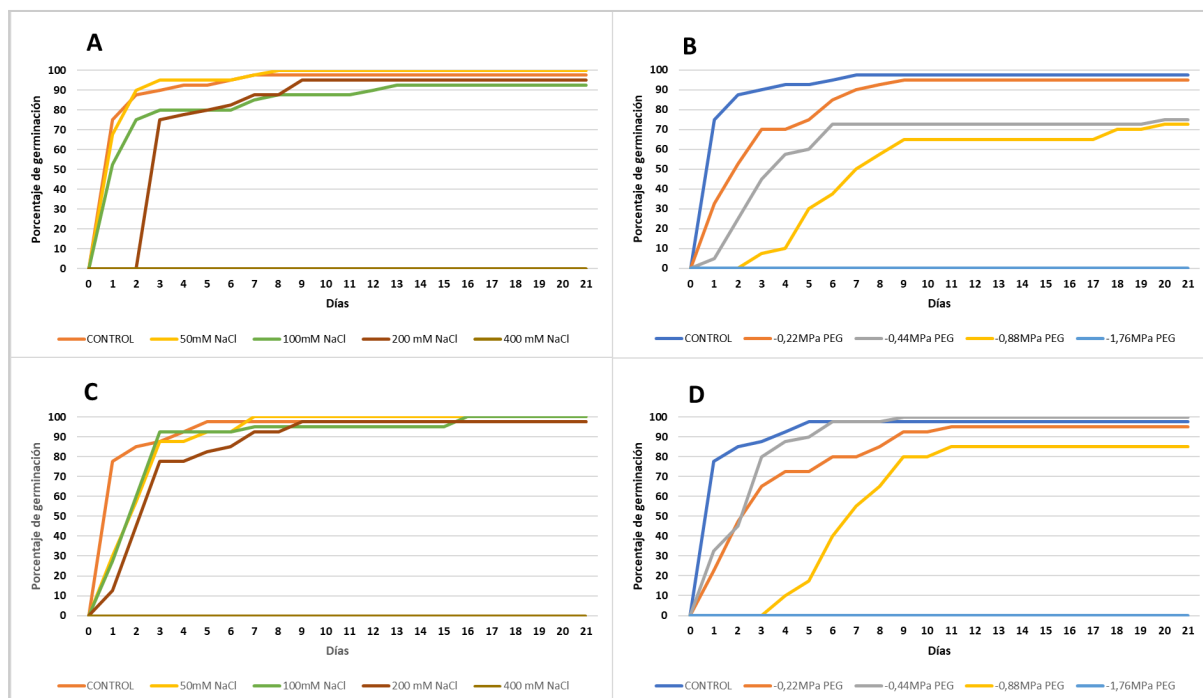


Figura 17. Comparativa de la evolución de la germinación en: A. *Ipomoea purpurea* con NaCl. B. *I. purpurea* con PEG. C. *I. tricolor* con NaCl. D. *I. tricolor* con PEG.

Comparando los resultados obtenidos en la germinación con los tratamientos de NaCl y de PEG, se observó que tanto en *I. purpurea* como en *I. tricolor*, el PEG ha afectado de forma más negativa que la sal, siendo, en todos los casos, el porcentaje de germinación menor que con NaCl, a igual potencial osmótico. En *I. purpurea*, la diferencia entre tratamientos de ambas sustancias, es mayor (Figura 18A); mientras que en *I. tricolor*, es muy poca, o igual, en el caso del potencial osmótico de -0.44 MPa (Figura 18C), con diferencias significativas entre el -0.88 MPa de PEG comparando con el control en ambas especies.

En cuanto a los resultados de T50 (Figuras 18B y 18D), que es el tiempo en días que tardaron en germinar el 50% de las semillas germinadas, los resultados de las germinaciones con PEG son mayores que los de sal, tanto en *I. purpurea* como en *I. tricolor*, habiendo más diferencia con los de sal en la segunda especie y en ambos casos con diferencias significativas entre el -0.88 MPa PEG y el control.

Tanto en el caso de *I. purpurea* como en el de *I. tricolor*, en el porcentaje final medio de germinación únicamente hay una diferencia significativa entre el control y el tratamiento de -0.88 MPa de PEG, igual que en el índice T50.

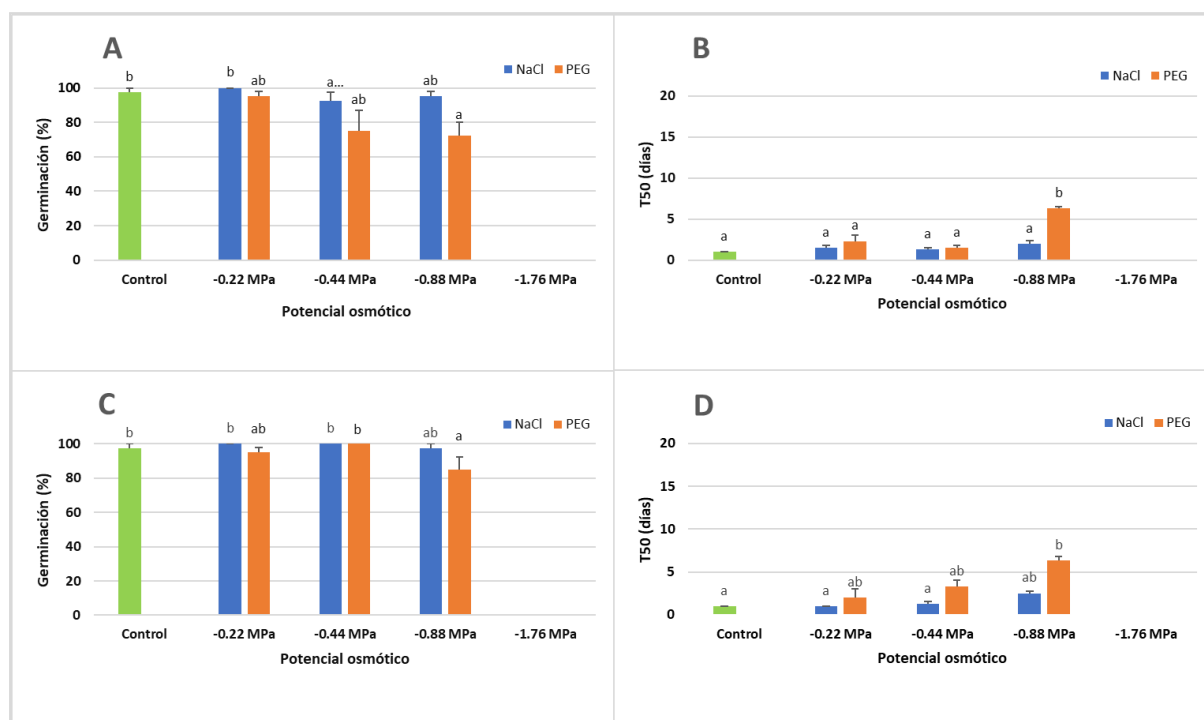


Figura 18. A. Porcentaje de germinación de *Ipomoea purpurea*. B. T50 de *I. purpurea*. C. Porcentaje de germinación de *Ipomoea tricolor*. D. T50 de *I. tricolor*. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

En cuanto a las longitudes de radícula medidas el último día de cada tratamiento, se afirma que las mayores se encuentran en el control y en el tratamiento de concentración más baja de PEG. Con respecto al hipocótilo, la longitud mayor se encuentra en el control. Se puede ver cómo al final, la media de longitud de plántula de cada tratamiento disminuye conforme aumenta la concentración tanto de NaCl como de PEG; siendo la mayor con 95.26 mm la del control, y la inferior con 22.35 mm, la de -0.88 MPa con el tratamiento de

sal. En cuanto al índice de vigor de la plántula (SVI), realizando el cálculo según la fórmula indicada en el apartado “*Material y métodos*” se obtienen los valores indicados en la *Tabla 1*, de los cuales se puede concluir que las plantas de mayor vigor se obtienen del control.

En cuanto a la longitud de radícula, únicamente hay diferencias significativas entre el control y el tratamiento -0.88 MPa de PEG; en lo referente a la longitud del hipocótilo todas son significativas, al igual que en la longitud de la plántula; y en cuanto a los SVI, las diferencias con el control únicamente no son significativas en los tratamientos con potencial osmótico -0.22 MPa.

*Tabla 1. Longitudes de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la plántula en Ipomoea purpurea. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.*

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>I. purpurea</i>	0	Control	56.2 ± 1.8 b	39.1 ± 1.5 d	95.3 ± 1.1 d	92.8 ± 1.7 d
<i>I. purpurea</i>	-0.22 MPa	NaCl	44.8 ± 3.2 ab	25.3 ± 2.8 c	70.1 ± 5.5 c	70.1 ± 5.5 bcd
<i>I. purpurea</i>	-0.44 MPa	NaCl	39.5 ± 2.9 ab	20.3 ± 2.5 bc	59.8 ± 5.0 bc	55.1 ± 4.9 bc
<i>I. purpurea</i>	-0.88 MPa	NaCl	15.1 ± 3.8 a	7.3 ± 0.9 a	22.4 ± 4.6 a	21.5 ± 4.9 a
<i>I. purpurea</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>I. purpurea</i>	-0.22 MPa	PEG	60.9 ± 12.2 b	13.3 ± 1.7 ab	74.2 ± 13.6 c	71.2 ± 14.4 cd
<i>I. purpurea</i>	-0.44 MPa	PEG	40.9 ± 15.7 ab	8.6 ± 2.0 a	49.5 ± 17.6 ab	43.2 ± 19.7 abc
<i>I. purpurea</i>	-0.88 MPa	PEG	28.4 ± 4.1 ab	7.2 ± 1.1 a	35.6 ± 4.0 ab	25.0 ± 0.8 ab
<i>I. purpurea</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

En cuanto al índice de velocidad de emergencia (SE), el valor más alto se encuentra en el control. Respecto al TSG (diferencia entre LGD y FSD, último y primer día que se produce germinación), el valor más bajo pertenece al control, al igual que el primer y último día de germinación. Por otro lado, el menor valor de SE, lo tienen los tratamientos de -0.44 y -0.88 de PEG, que también poseen los valores más altos de TSG, es decir, estos tratamientos afectan negativamente a la germinación retrasando su proceso (*Tabla 2*).

En el caso de la velocidad de emergencia, hay diferencias significativas únicamente en los tratamientos realizados con PEG; en el índice FGD, sólo en los tratamientos de potencial osmótico -0.88 MPa; y en LGD y TSG, no hay diferencias significativas.

*Tabla 2. Índices SE, FGD, LGD y TSG en Ipomoea purpurea. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.*

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>I. purpurea</i>	0	Control	76.9 ± 6.2 b	1.0 ± 0 a	3.8 ± 1.2 a	2.8 ± 1.2 a
<i>I. purpurea</i>	-0.22 MPa	NaCl	67.5 ± 9.5 ab	1.0 ± 0 a	5.00 ± 1.5 a	4.0 ± 1.5 a
<i>I. purpurea</i>	-0.44 MPa	NaCl	57.6 ± 10.1 ab	1.0 ± 0 a	7.50 ± 3.2 a	6.5 ± 3.2 a
<i>I. purpurea</i>	-0.88 MPa	NaCl	79.2 ± 7.5 b	3.0 ± 0 bc	7.5 ± 1.5 a	4.5 ± 1.5 a
<i>I. purpurea</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>I. purpurea</i>	-0.22 MPa	PEG	39.2 ± 6.0 a	1.5 ± 0.5 ab	6.5 ± 1.3 a	5.0 ± 1.1 a

<i>I. purpurea</i>	-0.44 MPa	PEG	38.1 ± 5.8 a	2.3 ± 0.6 ab	9.5 ± 3.5 a	7.3 ± 2.9 a
<i>I. purpurea</i>	-0.88 MPa	PEG	38.1 ± 5.8 a	4.0 ± 0.6 c	13.5 ± 2.6 a	9.5 ± 2.7 a
<i>I. purpurea</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

En el caso de *I. tricolor*, los valores mayores de la longitud de la radícula se encuentran en el tratamiento de -0.44 MPa de PEG, seguido del valor de -0.22 MPa de PEG. El valor más elevado de hipocótilo se encuentra en el mismo tratamiento que la radícula más larga; y los menores, con las menores longitudes de radícula: los tratamientos con mayores concentraciones de NaCl y PEG. En cuanto al índice de vigor, es muy variado, oscilando entre 48.44, en -0.88 MPa de PEG, y 106.47, en -0.44 MPa de PEG (Tabla 3).

En las longitudes de radícula, hipocótilo y plántula, no existen diferencias significativas entre los tratamientos y el control, sin embargo, en el índice de vigor de la planta, sí que existen con el tratamiento de -0.88 MPa de NaCl y en el de -0.88 MPa de PEG.

Tabla 3. Longitudes medias de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la plántula en *Ipomoea tricolor*. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>I. tricolor</i>	0	Control	61.3 ± 3.7 a	25.7 ± 0.6 a	87.0 ± 3.4 ab	85.0 ± 4.9 bc
<i>I. tricolor</i>	-0.22 MPa	NaCl	67.0 ± 3.5 a	20.5 ± 0.9 a	87.5 ± 4.4 ab	87.5 ± 4.4 c
<i>I. tricolor</i>	-0.44 MPa	NaCl	53.3 ± 5.6 a	22.4 ± 2.0 a	75.7 ± 6.7 ab	75.7 ± 6.7 abc
<i>I. tricolor</i>	-0.88 MPa	NaCl	44.6 ± 10.2 a	13.4 ± 0.8 a	58.0 ± 9.6 a	56.7 ± 10.0 ab
<i>I. tricolor</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>I. tricolor</i>	-0.22 MPa	PEG	65.3 ± 7.8 a	13.5 ± 1.8 a	78.9 ± 8.7 ab	75.6 ± 10.4 abc
<i>I. tricolor</i>	-0.44 MPa	PEG	68.9 ± 20.3 a	37.4 ± 23.6 a	106.5 ± 10.9 a	106.5 ± 10.9 abc
<i>I. tricolor</i>	-0.88 MPa	PEG	42.1 ± 6.4 a	14.5 ± 0.8 a	56.6 ± 5.8 a	48.4 ± 7.3 a
<i>I. tricolor</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

En esta especie al igual que en la anterior, el valor de SE más elevado corresponde al control, y el menor a -0.88 MPa de PEG. El menor valor de TSG, pertenece también al control, sin embargo, el mayor no corresponde con el valor de SE inferior, sino con el de -0.22 MPa de PEG (Tabla 4).

En la velocidad de germinación, todos los tratamientos tienen diferencias significativas con el control, mientras que en LGD y TSG, no existe ninguna. Por otro lado, en lo referente a FGD, únicamente hay diferencias significativas en el tratamiento de -0.88 MPa de PEG.

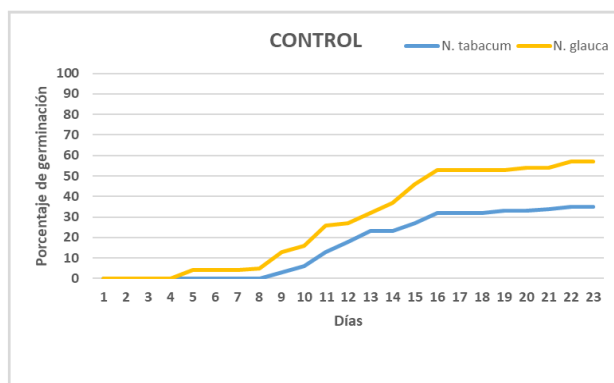
Tabla 4. Índices SE, FGD, LGD y TSG en *Ipomoea tricolor*. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>I. tricolor</i>	0	Control	79.4 ± 0.6 b	1.0 ± 0 a	4.5 ± 0.3 a	3.5 ± 0.3 a

<i>I. tricolor</i>	-0.22 MPa	NaCl	32.5 ± 4.8 a	1.0 ± 0a	6.5 ± 0.5 a	5.5 ± 0.5 a
<i>I. tricolor</i>	-0.44 MPa	NaCl	27.5 ± 2.5 a	1.0 ± 0a	7.3 ± 3.1 a	6.3 ± 3.1 a
<i>I. tricolor</i>	-0.88 MPa	NaCl	28.1 ± 8.4 a	1.5 ± 0.3 a	6.0 ± 1.7 a	4.5 ± 1.4 a
<i>I. tricolor</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>I. tricolor</i>	-0.22 MPa	PEG	23.3 ± 6.1 a	1.0 ± 0a	8.0 ± 1.2 a	7.0 ± 1.2 a
<i>I. tricolor</i>	-0.44 MPa	PEG	32.5 ± 8.5 a	1.0 ± 0a	5.5 ± 1.3 a	4.5 ± 1.3 a
<i>I. tricolor</i>	-0.88 MPa	PEG	21.6 ± 7.3 a	4.5 ± 0.5 b	9.5 ± 0.5 a	5.0 ± 0 a
<i>I. tricolor</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

## 4.2. Comparación de la germinación en las dos especies de *Nicotiana* analizadas

En el caso de *N. glauca* se ha comparado, a modo de referencia, con *N. tabacum*, especie del mismo género no invasora. El porcentaje de germinación final en el tratamiento de control en el caso de *N. glauca* fue casi del 60%, mientras que el de *N. tabacum*, no alcanzó el 40%. Por otro lado, la germinación en el caso de la invasora, comienza al quinto día, mientras que, en el tabaco, no lo hace hasta el noveno día (*Figura 19*)



*Figura 19. Comparativa de la evolución de germinación de Nicotiana glauca y N. tabacum en el tratamiento de control.*

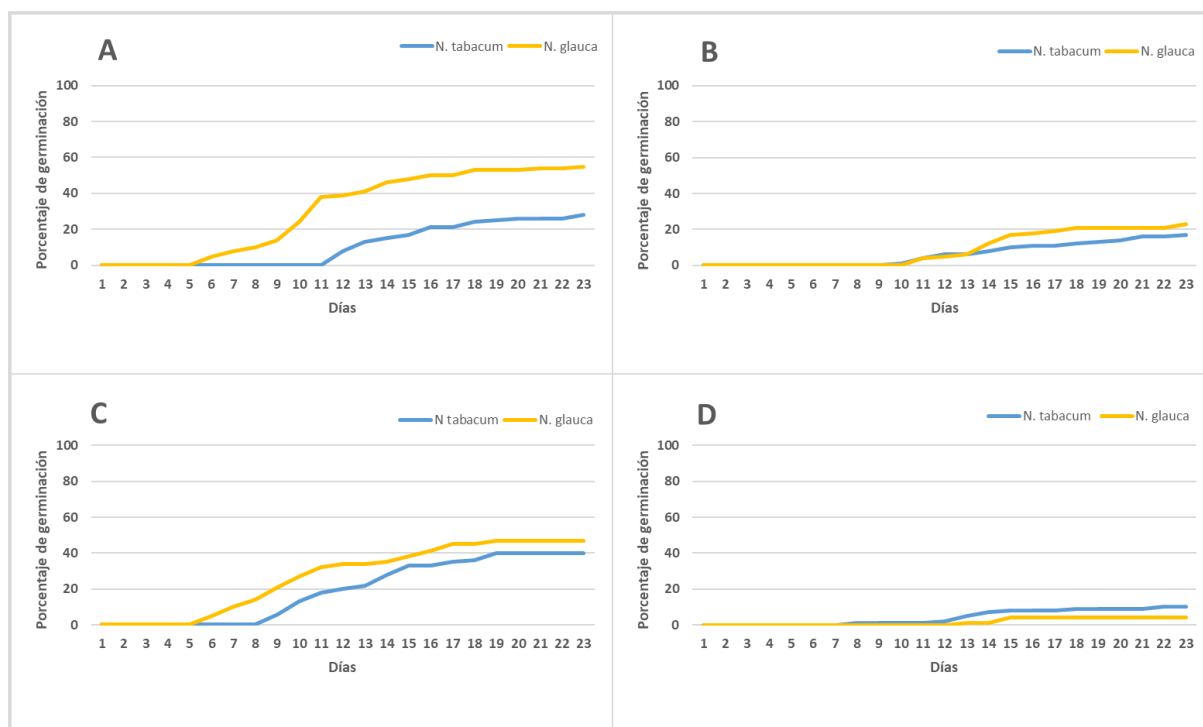
En el tratamiento de 50 mM de NaCl, *Nicotiana glauca* comienza a germinar en el día 5, diferenciándose mínimamente del control, pero, finalmente acaba germinando un porcentaje del 55%, únicamente inferior en un 2% al control. En el caso de *N. tabacum*, la germinación se ve afectada, comenzando el día 12 y finalizando con un 28% de germinación (*Figura 20A*).

En el tratamiento de 100 mM de NaCl la velocidad de germinación es menor en la invasora, que comienza a germinar el día 10, sin embargo, el tabaco comienza a germinar únicamente dos días más tarde que en el control. Por otro lado, el porcentaje de germinación final es, en ambos casos, inferior al 30%, siendo superior el de *N. glauca* (*Figura 20B*).

En el tratamiento de -0.22 MPa de PEG, la germinación en comparación con 50 mM de sal, en *N. glauca* comienza al mismo día, pero en *N. tabacum*, empieza en el día 8 en lugar del 12. El porcentaje final es menor que el de sal en el caso del tabaco moruno,

mientras que, en la otra especie, germinaron más de un 10% por encima del tratamiento equivalente de sal (*Figura 20C*).

En el potencial osmótico de  $-0.44$  MPa con tratamiento de PEG, la germinación en ambas especies comienza pasada la primera semana y en el caso de la invasora, comienza pasada la segunda semana. En este caso, *N. tabacum* supera en porcentaje de germinación a *N. glauca*, que únicamente germinó un 4% (*Figura 20D*).



*Figura 20. Comparativa de la evolución de la germinación de Nicotiana tabacum y N. glauca con: A. 50 mM de NaCl. B. 100 mM de NaCl. C.  $-0.22$  MPa de PEG. D.  $-0.44$  MPa de PEG.*

A diferencia del resto de especies, con estas solo se ha trabajado con dos concentraciones de cada tratamiento, ya que la velocidad de germinación era baja y las germinaciones eran escasas.

Comparando los resultados obtenidos en la germinación de NaCl y PEG con equivalente potencial osmótico, se han obtenido las gráficas de la *Figura 20*, en la que se puede observar que, en los tratamientos de sal aplicados a la invasora, la germinación fue mayor que con el PEG (*Figura 21A*); mientras que en el tabaco la germinación con PEG solo ha sido menor cuando el potencial osmótico ha sido más alto (*Figura 21C*).

En cuanto a T50, en *N. glauca* (*Figura 21B*) es menor que en *N. tabacum* (*Figura 21D*) en todos los casos, salvo en el tratamiento de PEG con potencial osmótico de  $-0.44$  MPa.

En el porcentaje de germinación, las diferencias entre el control y el resto de tratamientos en *N. glauca* no son significativas salvo en los tratamientos con potencial osmótico  $-0.44$  MPa, al igual que en *N. tabacum*. Por otro lado, en T50, no existe ninguna diferencia significativa en ninguna de las dos especies.



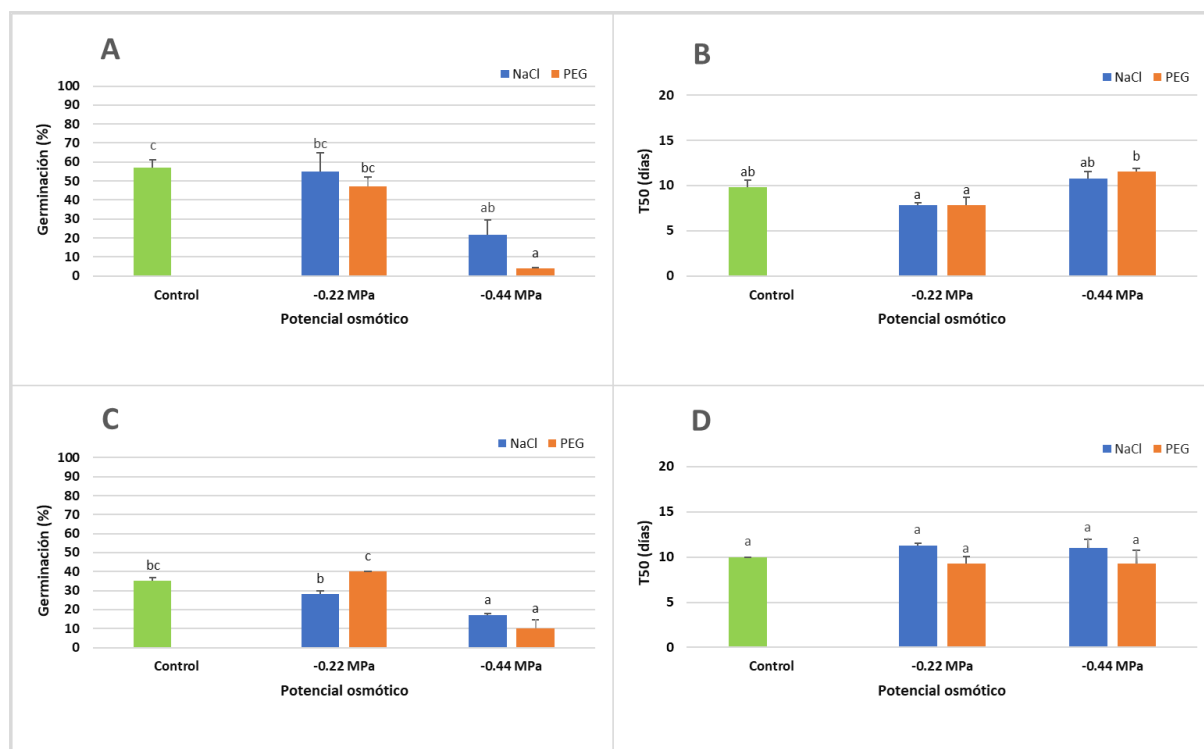


Figura 21. A. Porcentaje de germinación de *Nicotiana glauca*. B. T50 de *N. glauca*. C. Porcentaje de germinación de *Nicotiana tabacum*. D. T50 de *N. tabacum*. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey

Por otro lado, se observó que la longitud de radícula era variable según el tratamiento, siendo la longitud media del control, mayor que el resto, y la menor, en el tratamiento de 100 mM de NaCl (equivalente al potencial osmótico con valor -0.44 MPa), pero sin diferencias significativas. En cuanto al hipocótilo, apenas se observó variabilidad, los valores medios de los cinco tratamientos se encuentran entre 1.00 y 1.96 mm. La longitud de la plántula, de nuevo el valor más alto, pertenece al control, aunque el hipocótilo no tenga el valor más alto de todos los tratamientos. En los datos del SVI se puede interpretar que el tratamiento que permite que las plántulas crezcan con mayor vigorosidad, es el control, mientras que lo que peor desarrollo ocasiona, es el tratamiento de -0.44 MPa de PEG, seguido del equivalente en NaCl (Tabla 5).

En cuanto a los valores de longitudes no existen diferencias significativas, pero en el índice de vigor de la planta, las diferencias sí son significativas en los tratamientos de potencial osmótico -0.44 MPa, con respecto al control.

Tabla 5. Longitudes medias de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la plántula en *Nicotiana glauca*. Los valores representan medias con ES,  $n = 4$ . Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>N. glauca</i>	0	Control	5.2 ± 1.5 a	1.8 ± 0.2 ab	7.0 ± 1.7 a	4.2 ± 1.2 b
<i>N. glauca</i>	-0.22 MPa	NaCl	3.8 ± 0.1 a	2.0 ± 0.2 b	5.7 ± 0.2 a	3.1 ± 0.1 ab

<i>N. glauca</i>	-0.44 MPa	NaCl	1.8 ± 0.4 a	1.0 ± 0.2 a	2.8 ± 0.6 a	0.6 ± 0.2 a
<i>N. glauca</i>	-0.22MPa	PEG	2.3 ± 0.3 a	1.3 ± 0.2 ab	3.6 ± 0.4 a	1.7 ± 0.3 ab
<i>N. glauca</i>	-0.44 MPa	PEG	2.7 ± 0 a	1.4 ± 0.4 ab	4.1 ± 0.1a	0.2 ± 0.1 a

En esta especie, al contrario que en las anteriores, el menor valor de SE se encuentra en el control, mientras que el más alto, en el tratamiento de PEG de -0.44 MPa. Por otro lado, el primer día de germinación se produce más temprano en el control, mientras que el más tardío es en el tratamiento de concentración más alta de PEG. El TSG más alto con un valor de 16.5, se encuentra en el control, mientras que el más bajo, 1.0, en el tratamiento de -0.44 MPa de PEG (*Tabla 6*).

En cuanto a la velocidad de emergencia en *N. glauca*, en comparación con el control, el único valor significativo es el de -0.44 MPa de PEG, al igual que en el resto de índices (FGD, LGD y TSG). En FGD, también es significativo el resultado del tratamiento de -0.44 MPa de NaCl.

*Tabla 6. Índices SE, FGD, LGD y TSG y SE en Nicotiana glauca. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.*

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>N. glauca</i>	0	Control	7.3 ± 6.6 a	3.0 ± 0.5 a	19.5 ± 1.2 b	16.5 ± 1.6 b
<i>N. glauca</i>	-0.22 MPa	NaCl	10.8 ± 1.7 a	4.0 ± 0 ab	19.3 ± 0.6 b	15.3 ± 0.6 b
<i>N. glauca</i>	-0.44 MPa	NaCl	32.8 ± 1.3 a	7.5 ± 0.4 b	18.3 ± 0.7 b	10.8 ± 1.0 b
<i>N. glauca</i>	-0.22MPa	PEG	12.4 ± 4.1 a	4.0 ± 0.3 ab	16.0 ± 0 ab	12.0 ± 0.3 b
<i>N. glauca</i>	-0.44 MPa	PEG	75.0 ± 20.2 b	12.0 ± 1.3 c	13.0 ± 2.6 a	1.0 ± 1.3 a

En cuanto a *N. tabacum*, las longitudes de radícula son variables entre 3.40 y 1.87 mm, siendo el valor mayor del control, y el menor del tratamiento de 100 mM de NaCl al igual que en el caso anterior. Respecto al hipocótilo, únicamente hay una diferencia de 0.49 mm entre el valor más alto y el menor, siendo mayor en el tratamiento de -0.44 MPa de PEG. El SVI resulta ser mayor en el tratamiento de PEG de concentración más baja con un valor de 1.81, seguido del control, con 1.69. Cabe destacar, que pese a que el PEG tenga un valor medio de la longitud de plántula bastante elevado, posee el menor índice de vigor (*Tabla 7*).

En el caso de esta especie, las diferencias entre longitudes de radícula, hipocótilo y plántula, no son significativas con respecto al control, sin embargo, el SVI resulta significativo en los tratamientos con mayor potencial osmótico: -0.44 MPa.

*Tabla 7. Longitudes medias de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la plántula en Nicotiana tabacum. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.*

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>N. tabacum</i>	0	Control	3.4 ± 0.2 a	1.4 ± 0.2 a	4.8 ± 0.8 a	1.7 ± 0.3 b
<i>N. tabacum</i>	-0.22 MPa	NaCl	2.1 ± 0.1 a	1.1 ± 0.1 a	3.3 ± 0.6 a	0.9 ± 0.2 ab
<i>N. tabacum</i>	-0.44 MPa	NaCl	1.9 ± 0.1 a	1.0 ± 0.1 a	2.9 ± 0.4 a	0.5 ± 0.1 a

<i>N. tabacum</i>	-0.22 MPa	PEG	3.2 ± 0.1 a	1.3 ± 0.1 a	4.5 ± 0.3 a	1.8 ± 0.1 b
<i>N. tabacum</i>	-0.44 MPa	PEG	2.1 ± 0.3 a	1.5 ± 0.3 a	3.6 ± 3.4 a	0.4 ± 0.2 a

Al igual que en *N. glauca*, *N. tabacum* posee el índice de velocidad de emergencia más bajo en el control y el más alto en -0.44 MPa de PEG. Por otro lado, el TSG es mayor en el tratamiento de -0.22 MPa de PEG y menor en el de -0.44 MPa de PEG (*Tabla 8*).

En los valores de SE y de LGD de los distintos tratamientos, únicamente existe diferencia significativa con respecto al control, en los tratamientos con potencial osmótico de -0.44 MPa, mientras que en los otros dos índices, no existen diferencias significativas.

*Tabla 8. Índices SE, FGD, LGD y TSG y SE (Standard Error) en Nicotiana tabacum. Los valores representan medias con ES, n = 4. Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.*

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>N. tabacum</i>	0	Control	17.9 ± 6.6 a	7.5 ± 0.5 ab	16.0 ± 1.2 b	8.5 ± 1.6 b
<i>N. tabacum</i>	-0.22 MPa	NaCl	28.9 ± 1.7 ab	10.0 ± 0 b	15.8 ± 0.6 ab	5.8 ± 0.6 ab
<i>N. tabacum</i>	-0.44 MPa	NaCl	23.8 ± 1.3 ab	9.0 ± 0.4 ab	17.5 ± 0.7 ab	8.5 ± 1.0 b
<i>N. tabacum</i>	-0.22MPa	PEG	20.0 ± 4.1 ab	7.3 ± 0.3 a	17.0 ± 0 ab	9.8 ± 0.3 b
<i>N. tabacum</i>	-0.44 MPa	PEG	56.7 ± 20.2 b	9.0 ± 1.3 ab	11.7 ± 2.6 a	2.7 ± 1.3 a

#### 4.3. Patrones de germinación en *Mirabilis jalapa* L.

Al observar los resultados de los ensayos realizados con las distintas concentraciones de NaCl, se puede observar cómo a medida que aumenta la concentración, disminuye la velocidad y el porcentaje de germinación. El caso del control, es el único en el que consigue germinar el 100% de las semillas, seguido del tratamiento de 100 mM de sal, en el que germinó una media del 90%, más que en el de 50 mM en el que la media fue de del 75%, esto puede ser debido a la contaminación de algunas semillas, las cuales tuvieron que ser eliminadas para no infectar al resto. En el caso del tratamiento de 200 mM de NaCl, la germinación se empezó a producir mucho más tarde que en el resto de tratamientos de concentraciones inferiores, sin embargo, sólo se diferencia en un 7.5% del tratamiento de 100 mM en la germinación final media. En cuanto al tratamiento de mayor concentración, no se produjo ninguna germinación en las placas donde se aplicó (*Figura 22A*).

Al aplicar el tratamiento de PEG, se notó gran diferencia con las equivalentes de NaCl, tanto en la velocidad de germinación como en el número final de germinaciones, que ambos resultaron mucho menores. El tratamiento de potencial osmótico más bajo (-0.22 MPa), se diferencia en un 52.5% del control y siguiente potencial osmótico, -0.44 MPa, un 87.5% en la germinación final media. Finalmente, los tratamientos correspondientes al potencial osmótico de -0.88 y -1.76 MPa, resultaron tener cero germinaciones (*Figura 22B*).

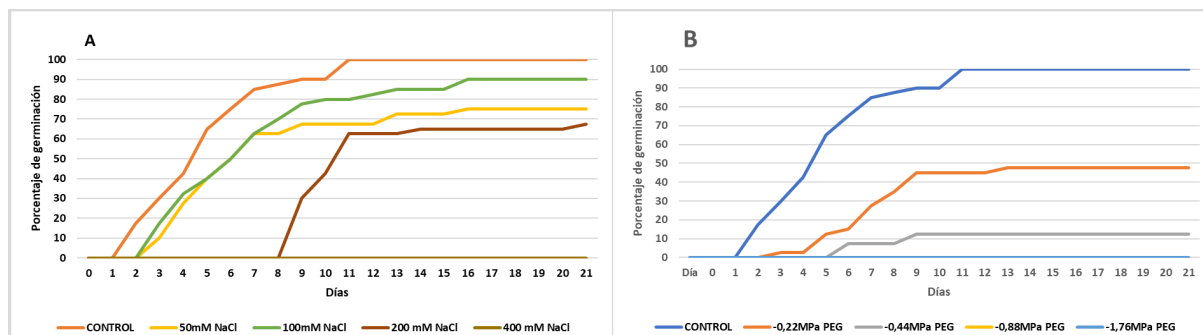


Figura 22. Evolución del porcentaje de germinación de *Mirabilis jalapa* con: A. concentraciones de NaCl. B. concentraciones de PEG.

En la Figura 23A, se puede apreciar la comparativa entre los tratamientos de PEG y los de NaCl, donde a igual potencial osmótico, la germinación es mucho mayor con sal y ausente en ambos al potencial de -1.76 MPa. Por otro lado, T50 es mayor siempre en los tratamientos de PEG, pero no son diferencias muy notables (Figura 23B).

En los porcentajes de germinación, únicamente hay diferencias significativas con respecto al control, en los tratamientos de PEG en los que se produjo germinación: -0.22 MPa y -0.44 MPa. Por otro lado, en T50 no hubo diferencias significativas en los resultados.

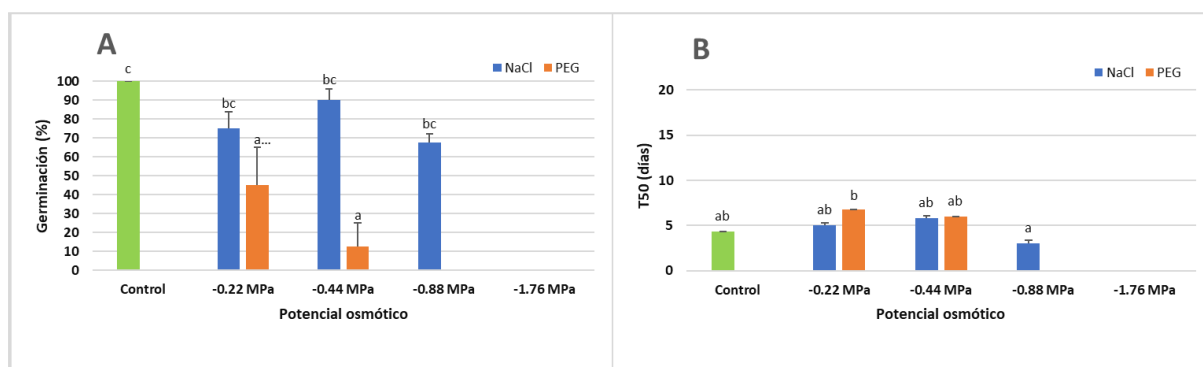


Figura 23. A. Porcentaje de germinación de *Mirabilis jalapa*. B. T50 de *M. jalapa*.

En el caso de *M. jalapa*, las mayores longitudes de radícula apenas se diferencian y pertenecen a las concentraciones de 50 y 100 mM de NaCl, mientras que la mayor longitud de hipocótilo pertenece al control, dando lugar a la mayor longitud de plántula y al mayor índice de vigor. Por el contrario, los valores mínimos de los cuatro factores (Longitud de radícula, hipocótilo, plántula y SVI), es del tratamiento de PEG de -0.44 MPa (Tabla 9).

Respecto a los datos de longitud de radícula, los únicos significativos teniendo de referencia el control, son los del tratamiento de -0.44 MPa de PEG. Este mismo tratamiento es significativo también en el resto de longitudes y en el SVI. Por otro lado, además de este, en la longitud de hipocótilo también es significativo el resultado del tratamiento de -0.22 de PEG.

Tabla 9. Longitudes medias de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la planta en *Mirabilis jalapa*. Los valores representan medias con ES,  $n = 4$ . Las letras diferentes

indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>M. jalapa</i>	0	Control	37.6 ± 3.2 b	14.5 ± 2.2 b	52.1 ± 5.0 b	52.1 ± 5.0 b
<i>M. jalapa</i>	-0.22 MPa	NaCl	39.3 ± 10.5 b	12.4 ± 1.0 b	51.7 ± 11.8 b	41.6 ± 11.5 ab
<i>M. jalapa</i>	-0.44 MPa	NaCl	37.0 ± 7.6 b	11.9 ± 3.0 b	48.8 ± 10.6 b	45.6 ± 12.0 b
<i>M. jalapa</i>	-0.88 MPa	NaCl	39.8 ± 4.3 b	7.6 ± 3.0 ab	47.4 ± 5.0 b	32.4 ± 5.2 ab
<i>M. jalapa</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>M. jalapa</i>	-0.22 MPa	PEG	33.1 ± 1.8 ab	8.2 ± 0.4 ab	41.3 ± 3.1 ab	19.6 ± 9.3 ab
<i>M. jalapa</i>	-0.44 MPa	PEG	10.3 ± 0 a	2.1 ± 0 a	12.4 ± 0 a	6.2 ± 0 a
<i>M. jalapa</i>	-0.88 MPa	PEG	-	-	-	-
<i>M. jalapa</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

En cuanto a los índices SE y TSG, el valor más alto del primero se corresponde con el tratamiento -0.44 MPa de PEG, mientras que el mayor del segundo se corresponde con el valor de -0.44 MPa de NaCl. El día más temprano de germinación fue en el tratamiento de control.

En la velocidad de emergencia, no existen diferencias significativas con respecto al control, al igual que en el índice LGD, mientras que en los índices FGD y TSG sí que hay resultados significativos: en FGD, lo son en los tratamientos de PEG y en -0.88 MPa de NaCl; y en TSG, lo son en los de -0.22 y -0.44 MPa de NaCl y -0.22 MPa de PEG.

Tabla 10. Índices SE, FEG, LGD y TSG en *Mirabilis jalapa*. Los valores representan medias con ES,  $n = 4$ . Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>M. jalapa</i>	0	Control	20.0 ± 0.5 a	2.3 ± 0.3 a	10.5 ± 0.5 a	8.3 ± 0.5 bc
<i>M. jalapa</i>	-0.22 MPa	NaCl	26.2 ± 0.3 a	3.5 ± 0.3 ab	12.3 ± 1.9 a	8.8 ± 2.1 c
<i>M. jalapa</i>	-0.44 MPa	NaCl	20.0 ± 0 a	3.0 ± 0 a	13.0 ± 1.8 a	10.0 ± 1.8 c
<i>M. jalapa</i>	-0.88 MPa	NaCl	55.4 ± 5.4 a	9.3 ± 0.3 c	11.8 ± 0.8 a	2.5 ± 0.9 a
<i>M. jalapa</i>	-1.76 MPa	NaCl	-	-	-	-
<i>M. jalapa</i>	-0.22 MPa	PEG	58.7 ± 23.9 a	5.8 ± 1.3 c	9.3 ± 1.4 a	3.5 ± 2.1 a
<i>M. jalapa</i>	-0.44 MPa	PEG	60.0 ± 0 a	6.0 ± 0 b	9.0 ± 0 a	3.0 ± 0 ab
<i>M. jalapa</i>	-0.88 MPa	PEG	-	-	-	-
<i>M. jalapa</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

#### 4.4. Patrones de germinación en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Witt

La germinación de *L. leucocephala* en el control fue del 100% y muy rápida, ya que al primer día había germinado un 95% de las semillas. En los tratamientos de 50 y 100 mM, las primeras germinaciones fueron el día 1, y el día 3 ya se encontraban en el 100 y 95% respectivamente. El cambio de concentración fue más notable en las germinaciones al

pasar de 100 mM a 200 mM, tratamiento en el cual las primeras germinaciones se produjeron en día 2, y el máximo se alcanzó el día 10, con un 80% de semillas germinadas. En el tratamiento de concentración más alta, 400 mM de NaCl, no se observó ninguna germinación hasta el día 13, y tuvo una germinación final media del 10% (Figura 24A).

A igual potencial osmótico, los tratamientos con PEG afectaron de forma más negativa a la germinación, por ejemplo, se puede observar que el potencial osmótico -0.22 MPa de PEG (equivalente a 50 mM de NaCl), tiene una curva mucho más parecida a la de 200 mM y la germinación final únicamente se diferencia en un 5% a la de esta (Figura 24B). En el caso del potencial -0.44 MPa, las germinaciones sólo alcanzan el 32.5%, mientras que en su equivalente con sal (100 mM) son del 95%. En los casos de las concentraciones de PEG más altas (-0.88 y -1.76 MPa), no se produjo ninguna germinación, mientras que en las de NaCl, sí.

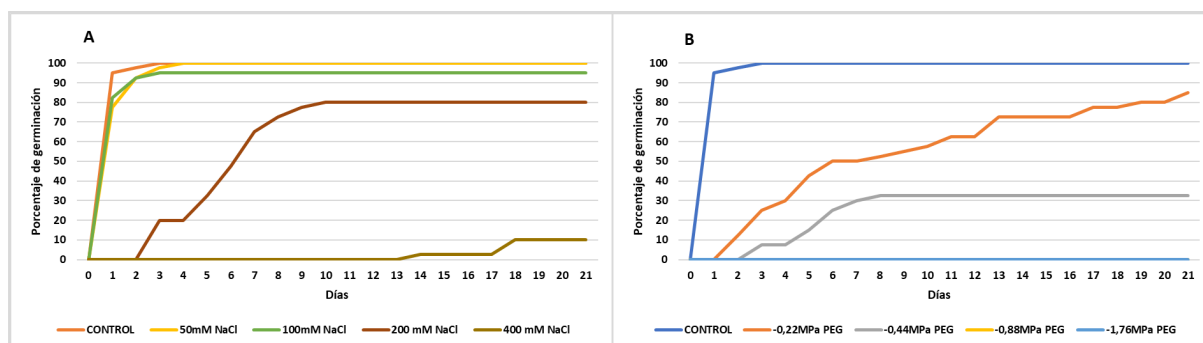


Figura 24. Evolución del porcentaje de germinación de *Leucaena leucocephala* con: A. Concentraciones de NaCl. B. Concentraciones de PEG.

Al comparar los resultados a igual potencial osmótico, pero con diferente sustancia, se observó que con las diferentes concentraciones de NaCl había mucha mayor germinación que con las de PEG (Figura 25A).

En T50, los dos primeros tratamientos de NaCl tienen un valor muy bajo, ya que la germinación total se produjo a principios o mediados de la primera semana, mientras que el valor en el último tratamiento fue mucho mayor, ya que la germinación fue más lenta. Por otro lado, los valores de este índice fueron mayores para los tratamientos de PEG, ya que había una notable diferencia en la velocidad de germinación de las semillas (Figura 25B).

En el porcentaje de germinación sólo hay diferencias significativas en los tratamientos de -0.44 MPa de PEG y -1.76 MPa de NaCl, mientras que en T50 sólo se producen en los tratamientos de -0.22 MPa de PEG y -1.76 MPa de NaCl.

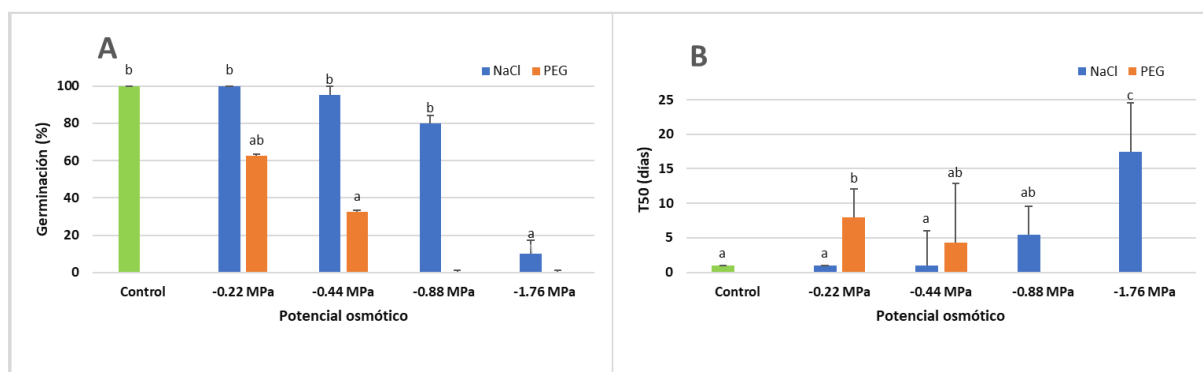


Figura 24. A. Porcentaje de germinación de *Leucaena leucocephala*. B. T50 de *L. leucocephala*.

En *Leucaena leucocephala* la mayor longitud media de radícula se encuentra en el tratamiento de 50 mM de NaCl, al igual que la mayor longitud de hipocótilo y de plántula. El índice de vigor de la planta es mayor en el tratamiento de concentración más baja de sal con gran diferencia al de menor valor, que se encuentra en el tratamiento de 400 mM de sal (el de mayor concentración), que, además, es donde se hallan las longitudes más cortas de radícula, hipocótilo y plántula (Tabla 11).

En las longitudes de radícula únicamente son significativas las diferencias con el control en el tratamiento de -1.76 MPa de NaCl, al igual que en la longitud de radícula y de plántula. En el SVI, existen diferencias significativas en los tratamientos -1.76 MPa de NaCl y en -0.44 MPa de PEG.

Tabla 11. Longitudes medias de radícula, hipocótilo y plántula e índice de vigor de la plántula en *Leucaena leucocephala*. Los valores representan medias con ES,  $n = 4$ . Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	L radícula (mm)	L hipocótilo (mm)	L plántula (mm)	SVI
<i>L. leucocephala</i>	0	Control	62.4 ± 3.1 bc	19.9 ± 0.9 a	82.3 ± 3.8 bc	82.3 ± 3.8 bc
<i>L. leucocephala</i>	-0.22 MPa	NaCl	90.3 ± 5.4 c	38.9 ± 18.3 a	129.2 ± 20.4 c	129.2 ± 20.4 c
<i>L. leucocephala</i>	-0.44 MPa	NaCl	81.7 ± 5.3 c	16.1 ± 3.1 a	97.9 ± 5.8 bc	93.0 ± 7.6 bc
<i>L. leucocephala</i>	-0.88 MPa	NaCl	36.6 ± 4.3 ab	13.2 ± 1.3 a	49.8 ± 5.4 ab	40.5 ± 6.4 ab
<i>L. leucocephala</i>	-1.76 MPa	NaCl	10.3 ± 1.4 a	4.6 ± 0.9 a	14.8 ± 0.6 a	2.9 ± 0.9 a
<i>L. leucocephala</i>	-0.22 MPa	PEG	68.5 ± 16.7 bc	16.8 ± 2.8 a	81.3 ± 19.4 bc	48.8 ± 22.4 ab
<i>L. leucocephala</i>	-0.44 MPa	PEG	33.5 ± 4.9 ab	6.9 ± 0.7 a	40.4 ± 5.5 ab	13.3 ± 4.6 a
<i>L. leucocephala</i>	-0.88 MPa	PEG	-	-	-	-
<i>L. leucocephala</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-

Al igual que en las especies *I. purpurea* e *I. tricolor*, en el control el SE es mayor que en el resto, y el TSG menor. El SE más bajo corresponde al tratamiento de -0.22 MPa de NaCl y el mayor de TSG, al de -0.22 MPa de PEG (Tabla 12).

En la velocidad de emergencia es significativa la diferencia entre el control y los tratamientos de -0.88 MPa de NaCl y -0.22 MPa y -0.44 MPa de PEG. En el índice FGD únicamente hay diferencia significativa en -1.76 MPa de NaCl. En el caso de LGD son significativos los resultados de -0.88 y -1.76 MPa de NaCl y los tratamientos de PEG. Por último, TSG tiene diferencias significativas en los tratamientos de -1.76 MPa de NaCl y -0.44 y 0.88 MPa de PEG.

Tabla 12. Índices SE, FGD, LGD y TSG en *Leucaena leucocephala*. Los valores representan medias con ES,  $n = 4$ . Las letras diferentes indican diferencias significativas en un intervalo de confianza del 95 % según el test de Tukey.

Especie	Potencial osmótico	Tratamiento	SE	FGD	LGD	TSG
<i>L. leucocephala</i>	0	Control	95.0 ± 2.9 c	1.0 ± 0 a	1.8 ± 0.5 a	0.75 ± 0.5 a
<i>L. leucocephala</i>	-0.22 MPa	NaCl	7.5 ± 9.5 bc	1.0 ± 0a	2.8 ± 0.5 a	1.8 ± 0.5 a

<i>L. leucocephala</i>	-0.44 MPa	NaCl	87.5 ± 6.3 c	1.0 ± 0 a	2.0 ± 0.4 a	1.0 ± 0.4 a
<i>L. leucocephala</i>	-0.88 MPa	NaCl	24.06 ± 7.3 a	3.0 ± 0a	9.0 ± 0.4 b	6.0 ± 0.4 b
<i>L. leucocephala</i>	-1.76 MPa	NaCl	66.7 ± 23.6 bc	16.0 ± 1.4 b	18.0 ± 0 c	2.0 ± 1.4 a
<i>L. leucocephala</i>	-0.22 MPa	PEG	19.0 ± 6.9 a	4.0 ± 1.7 a	16.0 ± 2.0 c	12.0 ± 0.7 c
<i>L. leucocephala</i>	-0.44 MPa	PEG	43.3 ± 19.2 ab	4.0 ± 0.6 a	6.0 ± 1.2 ab	2.0 ± 0.9 b
<i>L. leucocephala</i>	-0.88 MPa	PEG	-	-	-	-
<i>L. leucocephala</i>	-1.76 MPa	PEG	-	-	-	-



## 5. Valoración del conjunto de los resultados

Al aplicar los distintos tratamientos de NaCl y PEG, se ha podido observar, a nivel general, que, a igual potencial osmótico, el porcentaje de germinación final era menor y que el tiempo en que tardaban en salir las primeras semillas, era mayor en presencia de PEG en todas las especies. Con ello, se puede concluir que el estrés osmótico afecta de forma más negativa a la germinación que el estrés salino en todas las especies analizadas en este trabajo

En el caso de *Ipomoea purpurea*, los tratamientos de sal únicamente afectaron a la velocidad con la que fueron apareciendo las primeras germinaciones, ya que el porcentaje de germinaciones final de cada tratamiento es muy similar superior al 90%, a falta del de 400 mM, que fue cero. Al aplicar los tratamientos de PEG en esta especie, sí se observó que conforme aumentaba la concentración, las semillas tardaron más tiempo en germinar y el porcentaje final de germinación fue bastante menor que en el tratamiento de control, pero, aun así, por encima del 50%.

En la especie *Ipomoea tricolor*, la respuesta a los tratamientos de NaCl fue similar, pero en los tratamientos con PEG, la respuesta fue más positiva que en *I. purpurea*, ya que el porcentaje de germinación final de los potenciales osmóticos -0.44 MPa y -0.88 MPa, fueron levemente más altos. La conclusión extraída de este resultado fue que algunas de las semillas de *I. purpurea* seguían contaminadas tras la desinfección con lejía, y al ser invadidas por hongos, no se produjo bien la germinación. Se supone esto, ya que la diferencia es de alrededor del 10% y no mayor.

En cuanto a los resultados obtenidos en los índices de *Ipomoea purpurea*, se puede afirmar que, aunque el número de germinaciones sea muy elevado, las plántulas no crecen tan vigorosas como cuando no se les somete a ningún tipo de estrés. Por otro lado, comprobando FGD, se demuestra que la germinación es rápida pero no tanto como en condiciones óptimas. Esto es corroborado por LGD, donde ocurre lo mismo: los valores son más bajos en los tratamientos de mayor potencial osmótico y va aumentando según el potencial es menor, lo que concluye que la totalidad de las germinaciones se produce antes en condiciones óptimas, y se alarga el proceso en situaciones de estrés.

En *Ipomoea tricolor* se observa cómo las longitudes de radícula no son mayores en el control, sino en los tratamientos con potencial osmótico -0.22 MPa (NaCl) y -0.44 MPa (PEG). Teniendo en cuenta que en general el PEG afecta negativamente al desarrollo de las semillas, podría no tener sentido este resultado, sin embargo, puesto que las condiciones de PEG son desfavorables para las semillas, también resultaron serlo para la aparición de hongos u otros factores bióticos contaminantes; por lo que el desarrollo de la plántula en este tratamiento, no se vio afectado por estos, mientras que en el control, sí. En cuanto al TSG, es claramente menor en el control, lo que sigue corroborando que a pesar de que la germinación se haya producido en todos los tratamientos, sí que han afectado negativamente a la germinación. Comparando este índice por potenciales osmóticos equivalentes de sal y PEG, en general en PEG son mayores, lo que significa que ha afectado más.

En el caso de *Nicotiana glauca* las germinaciones se empezaron a producir a los pocos días y alcanzaron casi un 60% de la totalidad de semillas que se cultivaron, superando a la especie de su mismo género, *N. tabacum*, que tuvo un porcentaje de germinación alrededor de un 20% menos. Este hecho se justifica con que *N. glauca* tiene

mayor capacidad germinativa por su condición de invasora. Esta diferencia de germinación, tanto en velocidad de aparición de las primeras germinaciones como en el número de estas, se produce en todos los tratamientos aplicados salvo en el de mayor concentración de PEG, que, pese a que no hay gran diferencia en el porcentaje de germinaciones final, *Nicotiana tabacum* la supera. Se puede concluir que en *Nicotiana tabacum* apenas hay diferencia entre tratamientos con sal y con PEG, pero sí influye el potencial osmótico, por eso son similares las curvas de NaCl y de PEG, y obtienen resultados muy parecidos; sin embargo, en *Nicotiana glauca*, sí que es relevante la diferencia entre la sal y el PEG, ya que los tratamientos que incluyen el PEG tienen peores consecuencias bastante notables para la germinación que los que contienen NaCl. Por este motivo, en el tratamiento de -0.44 MPa de PEG, la curva de la evolución de germinación de *N. tabacum* se mantiene prácticamente igual a la del mismo potencial de sal, mientras que en *N. glauca*, la diferencia es mucho mayor, resultando con efectos más negativos en PEG, quedando su curva por debajo que la de la planta no invasora.

En cuanto a la longitud de radícula, hipocótilo y plántula, *Nicotiana glauca* siempre tiene los valores más altos en el control, y por tanto el índice de vigor de la plántula también es mayor; se puede concluir junto con los anteriores datos, que esta especie se ve afectada de forma notable con situaciones tanto de estrés salino como de estrés osmótico, aunque sigue siendo capaz de germinar y desarrollarse.

En *Nicotiana tabacum*, los valores de las longitudes de radícula, hipocótilo y plántula son más similares entre tratamientos y más cercanos al control que en la invasora, lo que corrobora que esta especie a pesar de tener un porcentaje de germinación menor y tardar más en germinar que la invasora, le han afectado menos las situaciones de estrés dadas.

Los ensayos de *Mirabilis jalapa* han demostrado claramente cómo el PEG, a igual potencial osmótico, afecta de forma más negativa que la sal también en este caso. La germinación con PEG fue inferior y la velocidad de aparición de las primeras semillas germinadas fue más lenta. Según los resultados, la especie a 200 mM de NaCl sigue teniendo una germinación superior al 50%, al igual que *Ipomoea purpurea*, *I. tricolor* y como *Leucaena leucocephala*, lo que podría significar que podrían tolerar incluso una mayor concentración de sal siempre que no supere los 400 mM, ya que, a esta concentración, no germinó ninguna semilla. Se trata de una especie con alta tolerancia al estrés salino, sin embargo, al someterla a estrés osmótico, los resultados no fueron tan positivos, ya que, a igual potencial osmótico, con PEG a -0.22 MPa, germinó solo la mitad de las semillas, mientras que, con NaCl, alcanzó el 90% de germinación. Estos resultados dejan constancia de que se trata de una especie con alta tolerancia al estrés salino, pero se ve muy afectada por el estrés osmótico. En este caso, al contrario que en *Nicotiana tabacum*, el tipo de tratamiento es más significativo que el potencial osmótico.

En cuanto a las longitudes de radícula, en ningún tratamiento, salvo en -0.44 MPa de PEG, hay diferencias de radícula, y la mayor no se encuentra en el control, sin embargo, el hipocótilo de mayor tamaño sí, esto se puede explicar de la siguiente forma: en el tratamiento de control las condiciones para la germinación son óptimas, por lo que la planta se desarrolla sin problemas; por el contrario, en los tratamientos de sal, el crecimiento de la radícula se comporta distinto, desarrollándose más que el hipocótilo buscando una zona de la que extraer agua de mayor calidad, es decir, sin el producto que le produce el estrés, por este motivo la radícula se desarrolla más que el hipocótilo, dejando plántulas con mayor radícula pero menos vigorosas, lo que es confirmado por el SVI, el cual es bastante mayor en el control.

En cuanto al resto de índices calculados, TSG es más bajo con diferencia, en los tratamientos -0.88 MPa de NaCl y -0.22 y -0.44 MPa de PEG, esto significa que al haber pocas germinaciones se concentraron en un rango muy corto de días, mientras que en el resto de tratamientos, las germinaciones empezaron antes y se fueron produciendo de forma más progresiva.

En la especie *Leucaena leucocephala* ocurre similar al resto de especies, a igual potencial osmótico, el PEG afecta más negativamente que la sal. La germinación con sal en esta especie tiene mejores resultados que el resto de especies, por lo que esta diferencia, puede ser una de las causas de su gran éxito como invasora ya que le permite adaptarse a un gran rango de situaciones con condiciones adversas, que otras muchas no pueden. Esta especie es la única de este ensayo que ha conseguido germinaciones con el tratamiento de 400 mM de NaCl alcanzando un 10% de las semillas totales. En lo que se refiere a T50, es la especie con valores más bajos, puesto que las germinaciones se producen en todos los casos, salvo en el de mayor concentración de sal, en los tres primeros días después del cultivo.

En esta especie, no existen diferencias relevantes en la germinación en los tratamientos de control, 50 mM y 100 mM de sal, se comportan prácticamente como si fueran el mismo tratamiento, por este motivo, los valores más altos de longitud de plántula, se encuentran entre estos tres. Los índices de vigor de la plántula más elevados pertenecen también a estos tres tratamientos, ya que el comportamiento de la especie apenas ha variado con la presencia de sal. Por el contrario, los SVI más bajos, se encuentran en los tratamientos de PEG y en el correspondiente a 400 mM de NaCl.

El índice TSG más bajo, se encuentra en el tratamiento de control, debido a que la germinación total de las semillas se produjo entre el primer y segundo día, o como máximo, al tercero. De forma similar, ocurrió en los tratamientos de 50 mM y 100 mM de NaCl, los cuales tienen los siguientes valores más bajos. Esto tiene sentido puesto que se comportaron prácticamente de la misma forma que el control.

En general, las conclusiones extraídas de los ensayos, se podrían resumir asumiendo que, en todas las especies estudiadas, salvo en *Nicotiana tabacum*, el tipo de tratamiento (NaCl o PEG), es significativo de alguna manera, a igual potencial osmótico. El potencial osmótico es influyente, puesto que indiferentemente de que se tratara de NaCl o PEG, ninguna especie, salvo *Leucaena leucocephala* con sal, consiguió germinar a -1.76 MPa, y sólo algunas lo hicieron a -0.88 MPa. El tratamiento de control, consigue en todos los casos, germinaciones cercanas al 100% en menos de tres semanas, salvo en las dos especies del género *Nicotiana*, las cuales tienen una germinación más lenta.

En cuanto a las longitudes de radícula e hipocótilo, en algunos casos se observa cómo las mayores longitudes no se encuentran en el control, sino en los tratamientos intermedios (ni control, ni los de mayor concentración de NaCl o PEG), esto puede ser debido a que las condiciones de estrés aún son lo suficientemente bajas como para que pueda desarrollarse pero no de la forma normal, es decir, que las plántulas crecen de forma desproporcionada por la raíz para aumentar la superficie de absorción, y mientras tanto, tener un hipocótilo poco desarrollado ya que la energía de la planta va destinada principalmente a aumentar su radícula. Este efecto, consigue que la plántula tenga menor vigor, de ahí que en la mayoría de casos, pese a que existan en otros tratamientos longitudes de plántula mayores, los índices de vigor de estas, tienden a ser superiores en los controles. En casos en los que los SVI son muy similares entre tratamientos, suele

coincidir con que apenas hay diferencia en la evolución de la germinación entre estos, lo que significa que no afectan prácticamente a la germinación, y por tanto la semilla se desarrolla de forma normal.

Los resultados han sido comparados con otros estudios, como por ejemplo, en uno realizado sobre distintas especies de tomate (*Solanum chilense*, *S. peruvianum*, *S. lycopersicoides* y *S. lycopersicum*) (Goykovic et al., 2014), en el cual se sometían las semillas y las plantas de tomate a diferentes estreses mediante NaCl y PEG 6000, igual que en este ensayo. Los resultados de este, concuerdan con el presente trabajo, en que el PEG tiene peores consecuencias sobre las plantas, tanto en la germinación como en el crecimiento a igual potencial osmótico que los tratamientos realizados con sal (Goykovic et al., 2014).

Otro estudio realizó ensayos con otra especie del género *Ipomoea*: *Ipomoea nil*, la cual es una maleza que afecta a cultivos de soja y algodón. Se sometió a las semillas a potenciales osmóticos entre 0 y -1.0 MPa, y se consiguieron porcentajes de germinación mayores al 90%, resultados muy similares a los obtenidos en este trabajo. En dichos ensayos, también se observa cómo a medida que aumenta el potencial osmótico, la germinación se ve afectada negativamente (Sobrero et al., 2003.)

Finalmente, en un estudio realizado sobre *Leucaena leucocephala*, se analizó su tolerancia al estrés hídrico y al estrés térmico, mediante el cual se sometía a las semillas a potenciales osmóticos de -0.3 y -0.6 MPa y temperaturas en intervalos de 5° desde los 25 hasta los 40°C. Se observó que al disminuir el potencial osmótico disminuía la germinación y el vigor de las semillas, además, al aumentar la temperatura por encima de la óptima (25-30°C), la capacidad germinativa era menor, aunque continuaban germinando. Combinando temperaturas superiores a los 30°C y un potencial osmótico de -0.3MPa, la capacidad germinativa se veía más reducida (Cardoso et al., 2018). En el caso de este trabajo, la temperatura no fue una variable, ya que se optó por usar las condiciones óptimas, sin embargo, este artículo coincide con los resultados al disminuir el potencial osmótico.

## 6. Conclusiones

Todas las especies invasoras analizadas, germinaron en porcentajes muy elevados, cerca del 100%, a excepción de *Nicotiana glauca*. En esta especie al igual que en *N. tabacum*, los porcentajes de germinación no han superado el 70%. Al comparar los resultados de germinación de estas dos últimas especies, se ve claramente cómo la germinación de *N. glauca* es más exitosa. Con respecto a las especies del género *Ipomoea*, ambas presentan porcentajes y velocidades de germinación muy similares. Por otro lado, la germinación en *Leucaena leucocephala* ha sido muy rápida en los tratamientos aplicados, lo que deja constancia de sus características como planta invasora. *Mirabilis jalapa* ha germinado en gran porcentaje, pero más lentamente que otras especies invasoras, aunque también a gran velocidad.

Todas las especies analizadas se ven afectadas más por el estrés osmótico que por el estrés salino; tanto *L. leucocephala* como ambas especies de *Ipomoea*, muestran una alta resistencia a la salinidad. Los resultados obtenidos en estos ensayos, señalan el gran potencial invasor de estas tres especies en base a las características de su germinación en condiciones de control, y su tolerancia a niveles medios de salinidad. Es por eso que estas tres especies, pueden ser muy problemáticas en zonas costeras de interés ecológico, como por ejemplo, en el Parque Natural de la Albufera (Valencia).

## 7. Referencias bibliográficas

- Bradley, B.A., Blumenthal, D M., Wilcove, D. S. & Ziska, L.H. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends Ecol. Evol.* **25**, 310-318.
- Castro-Díez, P. & Alonso, Á. (2017). Alteration of nitrogen cycling as a result of Invasion. En *"Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services"*, eds. Vilà, M. & Hulme. Springer International Publishing, págs. 49-62. doi:10.1007/978-3-319-45121-3\_4.
- Catford, J.A. (2017). Hydrological impacts of biological invasions. En *"Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services"* eds. Vilà, M. & Hulme. Springer International Publishing, págs. 63-80. doi:10.1007/978-3-319-45121-3\_5.
- Cronk, Q.C.B. & Fuller, J.C. (1995) *Plant Invasions: the Threat to Natural Ecosystems*. Chapman & Hall, London.
- Dai, Z.-C., Zhu, B., Wan, J.S.H. & Rutherford, S. (2022). Global changes and plant invasions. *Front. Ecol. Vol.* **10**, <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.845816>
- Dullinger, I., Wessely, J., Bossdorf, O., Dawson, W., Essl, F., Gattlinger, A., Klöner, G., Kreft, H., Kuttner, M., Moser, D., Pergl, J., Pyšek, P., Thuiller, W., van Kleunen, M., Weigelt, P., Winter, M., Dullinger, S. (2017). Climate change will increase the naturalization risk from garden plants in Europe. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **26**, 43-53, <https://doi.org/10.1111/geb.12512>
- Goykovic Cortés, V., Nina Alanoca, P. & Calle Llave, M. (2014). Efecto de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de plantas de tomate silvestres y cultivadas. *Intersciencia* **39**, 511-517, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33931446010>
- Guilot Ortiz, D. (2006). "*Ipomoea nil*" (L.) Roth e "*I. hederacea*" (L.) Jacquin. Dos especies invasoras nuevas para la Flora Valenciana. *Acta Bot Malac.* **31**, 153-156, doi: 10.24310/abm.v31i31.7135
- Junta de Andalucía (2010). *Flora Ornamental Española: Capítulo VI*. Consejería de Agricultura y Pesca. ISBN: 978-84-8474-280-7
- Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. (2023) (s. f.). *ODS 15. Protéger la biodiversité, les terres et les forêts*. Francia Diplomacia - Ministerio para Europa y de Asuntos Exteriores. <https://goo.su/RMtrRG>
- H. Onen, S. Farooq, P. Muñoz-Rodríguez, S. Ali Alharbi & S. Alfarraj (2023). *Ipomoea tricolor* (Convolvulaceae) in Turkey: New occurrence record and potential spread areas under current climatic conditions. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102543>
- Randall, R.P. (2012). *A Global Compendium of Weeds*. Perth, Australia: Department of Agriculture and Food Western Australia, pág. 1124. <http://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2013/20133109119.pdf>
- Reichard, S.H., Hayden, S. & White, P. (2001). Horticulture as a pathway of invasive plant introductions in the United States: Most invasive plants have been introduced for horticultural use by nurseries, botanical gardens, and individuals. *BioScience* **51** <https://academic.oup.com/bioscience/article/51/2/103/390610>
- Richards, A.J., Bossdorf, O., Muth, N.Z., Gurevitch, J. & Pigliucci M. (2006). Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecol. Lett.* **9**, 981-93. doi: 10.1111/j.1461-0248.2006.00950.x.

Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D. & West, C.J. (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Divers Distrib.* **6**, 93-107, <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>

Sanz-Elorza, M., Dana, E.D. & Sobrino, E. (2004) *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras de España*. Dirección General para la Biodiversidad. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 84-8014-575-7

Sobrero, M. T., Fioretti, M. N., Chaila, S., Avila, O. B. & Ochoa, M. del C. (2003). Factores que influyen sobre la germinación de *Ipomoea nil* (L.) Roth. *Agro Sur* **31**, 260-268. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2003.v31n2-06>

Van Der Veken, S., Hermy, M., Velland, M., Knapen, A. & Verheyen, K. (2008). Garden plants get a head start on climate change. *Front. Ecol. Environm.* **6**, 212–216, <https://doi.org/10.1890/070063>

Van Kleunen, M., Weber, E. & Fischer, M. (2010). A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecol. Lett.* **13**, 235-245, doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01418.x.

Vilà, M. & Hulme, P. E. (2017) Non-native species, ecosystem services, and human well-being. *En Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services* (Springer International Publishing). Págs. 1-14. doi:10.1007/978-3-319-45121-3\_1.

Villaseñor R., J.L. & F. J. Espinosa G. (1998). *Catálogo de malezas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Wilcove, D.S., Rothstein, D., Dubow, J., Phillips, A. & Losos, E. (1998). Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States. *Bioscience* **48**, 607-615.

Zenni, R.D., Bailey, J.K. & Simberloff, D. (2014). Rapid evolution and range expansion of an invasive plant are driven by provenance-environment interactions. *Ecol. Lett.* **17**. <http://dx.doi.org/10.1111/ele.12278>