



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Evaluación de cambios en rasgos fenotípicos de *Limonium admirable* ante el estrés salino

Facultad de Ciencias Experimentales

Grado en Ciencias Ambientales

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CURSO 2024/2025

Autor:

Ana Victoria Cerezuela López

Tutor:

Joaquín Moreno Compañ

Departamento de Biología Aplicada

Área de Botánica

Código COIR: TFG.GCA.JMC.AVCL.250203.



CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

RESUMEN

Limonium admirabile es un endemismo halófito del sureste ibérico, catalogado como En Peligro (EN) según los criterios de la UICN y sin protección efectiva en su área de distribución. Con el fin de establecer bases para un plan de conservación *ex situ* en jardines botánicos para la especie, se evaluó su respuesta fenotípica frente a diferentes niveles de salinidad en condiciones controladas de cultivo. Varios individuos fueron expuestos a cinco tratamientos de salinidad (0-6% NaCl), registrando rasgos morfológicos clave relacionados con el desarrollo vegetativo y se identificó una respuesta óptima bajo salinidad moderada (1% NaCl), con diferencias significativas entre tratamientos y a lo largo del tiempo. Los datos se analizaron mediante ANOVA y análisis de componentes principales (PCA). Los resultados confirman la tolerancia de la especie frente al estrés salino, permitiendo definir las condiciones óptimas del cultivo adaptadas a sus necesidades fisiológicas, lo que apoya su inclusión en colecciones vivas de jardines botánicos como herramienta clave para su conservación *ex situ*. Como proyección futura, se propone ampliar el estudio a otras poblaciones manteniendo las condiciones controladas, evaluando además su reproducción y fomentar su inclusión en programas regionales de conservación que incluyan bancos de germoplasma y posibles acciones de reintroducción.

Palabras clave: *Limonium admirabile*, endemismo, conservación *ex situ*, jardín botánico, salinidad.

ABSTRACT:

Limonium admirabile is a halophytic endemic specie to southeastern Iberia, listed as Endangered (EN) according to the IUCN criteria and without effective protection within its range. In order to establish the basis for an *ex situ* conservation plan for this species in botanical gardens, its phenotypic response to different salinity levels was evaluated under controlled cultivation conditions. Several individuals were exposed to five salinity treatments (0-6% NaCl), recording key morphological traits related to vegetative development, and an optimal response was identified under moderate salinity (1% NaCl), with significant differences between treatments and over time. Data were analyzed using ANOVA and principal component analysis (PCA). The results confirm the tolerance of the species to salt stress, allowing the definition of optimal cultivation conditions adapted to its physiological needs, which supports its inclusion in living collections in botanical gardens as a key tool for its *ex situ* conservation. As a future projection, it is proposed to extend the study to other populations maintaining the controlled and promoting its inclusion in regional conservation programs that include germoplasm banks and possible reintroduction actions.

Keywords: *Limonium admirabile*, endemism, *ex situ* conservation, botanical garden, salinity.



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. El género <i>Limonium</i> en la Provincia de Albacete.	5
1.2. Descripción de <i>L. admirabile</i> y distribución.	7
1.3. Ambientes salinos y halófitos.	9
1.4. Conservación de la diversidad vegetal.	12
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.	13
2.1. Legislación y situación actual.	13
2.2. Justificación.	15
2.3. Objetivos.	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	16
3.1. Zona de estudio.	16
3.2. Recolección en campo y montaje experimental.	17
3.3. Análisis estadísticos.	17
4. RESULTADOS	18
4.1. Análisis de Componentes Principales	18
4.2. Efecto de la salinidad a lo largo del tiempo	20
4.3. Interacción entre tratamiento y tiempo en los rasgos fenotípicos de <i>Limonium admirabile</i> .	21
5. DISCUSIÓN	23
5.1. Variabilidad fenotípica de <i>L. admirabile</i> y umbrales de tolerancia.	23
5.2. Directrices del Plan de Conservación en colecciones vivas.	24
6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.	24
7. BIBLIOGRAFÍA.	25
-ANEXOS-	30
Anexo I. Evolución por Tratamientos de <i>L. admirabile</i>	31
Anexo II. Evolución por Individuos de <i>L. admirabile</i>	41
Anexo III. Promedios de rasgos morfológicos de <i>L. admirabile</i> .	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El género *Limonium* en la Provincia de Albacete.

El género *Limonium* Mill., perteneciente a la familia Plumbaginaceae, comprende alrededor de 400 especies, de las cuales aproximadamente 100 se encuentran en la Península Ibérica y las Islas Baleares. Este género representa un grupo taxonómico complejo dentro de la flora mediterránea (Erben, 1993). Su diversificación se centra en dos regiones principales: las estepas asiáticas y el oeste de la Región Mediterránea, desempeñando un papel clave en la biodiversidad de esta última (Erben, 1993). Uno de los factores determinantes en la distribución de las especies de *Limonium* es su elevada tolerancia al estrés salino (Flowers y Colmer, 2008). Se trata principalmente de plantas herbáceas perennes que desarrollan rosetas de hojas basales con una ramificación corta, de las cuales emergen tallos floríferos estacionales, aunque también existen especies anuales dentro del género (Castroviejo, 1986-2015). El género *Limonium* presenta plantas herbáceas perennes, aunque rara vez son anuales, o forman matorrales enanos. Cepa corta y sin ramificaciones o bien alargada con una densa ramificación. El margen de las hojas es entero, aunque en ocasiones las encontramos con margen liradas o aserradas, como sucede con *L. sinuatum* (L.) Mill. y *L. lobatum* (L. fil.) Chaz.f, con formas que varían de orbiculares y pecioladas a estrechamente lineares y subsésiles; en el caso de las hojas caulinares generalmente son escamosas (Erben 1993). El escapo normalmente es erecto o ascendente, tanto simple como ramificación simpódica, y la ramificación se forma desde la base del escapo hasta el ápice del mismo. Presenta ramas dispuestas uni o bilateralmente pudiendo ser fértiles o estériles, la inflorescencia es tipo panícula y espigas terminales con un número variable de espiguillas (Erben 1993). El cáliz está compuesto por 5 sépalos fusionados, con forma tubular y presenta cinco dientes, aunque ocasionalmente presenta hasta diez; el limbo es membranáceo y tiende a plegarse (Erben 1993). La corola suele presentar cinco pétalos libres, y su morfología varía de cuneada a espatulada, con el ápice casi siempre emarginado. La coloración de los pétalos puede ser blanco, purpúrea o violeta. Está formada por 5 estambres epipétalos y soldados. El ovario es unilocular o abierto y está formado por 5 carpelos, con cinco estilos libres y cuyo estigma presenta dimorfismo, pudiendo adoptar una apariencia papilosa. El fruto es monospermo. El polen es reticulado y dimorfo y cuyas hendiduras (colpos) oscilan entre 3 y 5 (Erben 1993).

En la provincia de Albacete se encuentran, entre otras, varias comunidades pertenecientes al género *Limonium*, entre las que se encuentran:

- *L. caesium* (Girard) Kuntze: Es una planta perenne con múltiples tallos que pueden llegar a medir hasta 65 cm de altura. Aspecto glabro y coloración verde con matices

azulados. Las hojas basales tienden a desaparecer o están se secan cuando desaparecen. La ramificación es abundante y además cuenta con numerosas ramas estériles y espigas agrupadas de 6 a 8 espiguillas por centímetro. La bráctea externa varía de forma triangular a ovada y su ápice es puntiagudo y la externa de obovada a elíptica con el ápice redondeado. El color de sus flores es rosado-purpúreo (Terrones et al., 2018).

- *L. cossonianum* Kuntze: es un caméfito perenne, glabra y con múltiples tallos cuya altura oscila entre 3 y 30 cm. Las hojas basales forman la roseta y tienen variabilidad respecto a su tamaño: limbo elíptico, ovalado o casi redondeado con textura coriácea y con numerosos nervios laterales dispuestos de forma arqueada. El escapo floral es erecto y se ramifica en su mitad superior. La inflorescencia es una panícula tipo C que carece de ramas estériles y las espigan con compactas y se organizan en glomérulos, mientras que las espiguillas tienen forma cilíndrica contando con un máximo de siete flores. Además, la bráctea externa presenta forma triangular-ovada y la intermedia e interna son generalmente obovadas. Sus pétalos son de color blanco con forma cuneiforme (Castroviejo et al., 2005) y la encontramos en microhábitats menos salinos (Moreno et al., 2018).
- *L. delicatulum* (Kuntze): es una planta perenne y glabra con pocos escapos florales. El tallo es subterráneo, hasta 14 cm y se ramifica en la parte superior. Durante la floración, las hojas son persistentes y se disponen en roseta. El limbo tiene textura coriácea y es ovado, elíptico u obovado con varios nervios laterales. El escapo floral es erecto y se ramifica a partir de la mitad de su longitud y las inflorescencias carecen de ramas estériles. Además, presenta espigas de tamaño varia que están dispuestas de forma laxa. Las flores son de reducido tamaño y presentes entre 2 y 5 flores rodeadas por tres brácteas, y estas flores miden unos cinco milímetros y su cáliz es peloso y los pétalos son violáceos o rojizos (Castroviejo et al., 2005).
- *L. supinum* (Pignatti): es una planta perenne con múltiples tallos, cubierta por una fina pilosidad. Las hojas que están dispuestas en roseta son espatuladas u oblanceoladas, de color verde grisáceo con textura áspera y pilosas por el envés. Cuando florecen suelen estar marchitas y con uno o varios nervios laterales arqueados. El peciolo es estrecho, ligeramente piloso y cuya longitud es proporcional al limbo. El escapo puede medir hasta 60 cm, es erecto o ascendente con ramificación baja. En la inflorescencia hay abundantes ramas estériles, y las espigas están dispuestas densamente en la mitad superior y las espiguillas son delgadas con pocas flores, las cuales se encuentran protegidas por tres brácteas de forma triangular u obovada. Las flores miden entre 5-6 mm y tiene un cáliz peloso que

sobresale respecto a la bráctea interna y los pétalos son violáceos o rojizos (Castroviejo et al., 2005).

- *L. tobarrense* J.Moreno, Terrones, M.A.Alonso, Juan y M.B.Crespo: es una especie perenne y con varios tallos que emergen de la base. Las hojas se disponen en roseta basal, y son oblanceoladas y verdes durante la antesis. La inflorescencia tiene contorno romboide o lanceolado y generalmente carece de ramas estériles, aunque en ocasiones presenta algunas. Las espigas terminales son rectas, densas y más largas que las laterales, y las espiguillas están dispuestas bilateralmente. Las brácteas muestran variaciones morfológicas y el cáliz es peloso, con dientes semielípticos. Los pétalos son cuneados y de color violeta azulado (Moreno et al., 2016).
- *L. admirable* Terrones, J.Moreno, M.A.Alonso, Juan y M.B.Crespo: es una planta perenne, glabra y multitallo cuyas hojas se disponen en roseta basal, siendo las centrales de menor tamaño. Durante la antesis es de color verde, con tonalidades glauco-verdoso. El escapo es erecto y la inflorescencia de contorno lanceolado cuyos pétalos son cuneiformes y de color blanco o violeta (descrito más detalladamente en la subsección 1.2).

1.2. Descripción de *L. admirable* y distribución.

Limonium admirable es una especie perenne, glabra y multitallo, con un tocón de tronco de 10-24 cm. Las hojas de la roseta basal miden entre 27 y 98,6 mm de largo por 11-59,8 mm de ancho, siendo las centrales más pequeñas. El limbo, de forma elíptico-espatulada presenta curvatura de 60-80°, es mayormente verde en antesis, con tonalidades glauco-verdosas o verde amarillento, y muestra entre 3 y 5 nervios laterales (Figura 1). Su margen es escarioso (0,1 mm), con ápice obtuso y mucronado (1,7mm). El peciolo es erecto, de 5-28 mm de ancho y representa entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la longitud del limbo (Moreno et al., 2018). Los escapos son erectos, casi rectos y de 34,8-104,3 cm de longitud, ramificándose desde el tercio medio o superior y la primera bráctea suele ser más larga y verde. La inflorescencia (Figura 1), de contorno lanceolado (tipo C), tiene ramas primarias de hasta 40 cm, dispuestas de forma laxa con ángulos de 35-50°. Las espigas terminales miden entre 4,5 y 9,8 mm y se disponen densamente en el ápice o en glomérulos; las laterales son más cortas (3,6-9,2 mm). Las espiguillas están dispuestas bilateralmente, miden 3,0-4,1 mm y tiene de 2 a 9 flores (Moreno et al., 2018). Las brácteas muestran variabilidad morfológica; la externa es triangular-ovada (0,6-0,9 x 1,0-1,4 mm), con margen hialino; la media es oblongo-elíptica a oblongo-obovada (0,8-1,0 x 0,7x0,9 mm) y la interna, ampliamente obovada (2,2-3,2 x 2,3-3,4 mm), con margen hialino ancho. El cáliz mide 3,0-3,5 mm,

excediendo a la bráctea interna en 0,6-1,0 mm, con un tubo piloso unilateralmente (pelos de hasta 0,3 mm) y dientes semielípticos (0,7-0,9 x 0,6-0,8 mm). Los pétalos son cuneiformes y de color blancos o violeta pálido, de 3,6-4,0 x 0,6-0,8 mm. El estigma es filiforme, con papilas cónicas subagudas (Moreno et al., 2018). El polen presenta exina reticulada estrecha (tipo B), indicando autoincompatibilidad. Además, se observan irregularidades morfológicas en un 5-10% de los granos, incluyendo colpotación anómala (Moreno et al., 2018).

En cuanto a su ecología, *L. admirabile* crece en suelos salinos y arcillo-calcáreos (sustratos terciarios y cuaternarios). Estas salinas se encuentran en elevaciones ligeramente superiores a las áreas circundantes, lo que les permite evitar la inundación invernal. Desde el punto de vista bioclimático, la especie se ubica dentro del termotipo mesomediterráneo y en ombrotipo semiárido seco, según la clasificación de Rivas-Martínez et al. (2007). *L. admirabile* (Terrones et al. 2018) es una especie endémica exclusiva del Saladar de Cordovilla, una Zona de Especial Conservación (ZEC) ubicada en la provincia de Albacete, en el sureste de España. Hasta la fecha, se han identificado dos poblaciones principales. La primera población se localiza en el sureste de la provincia de Albacete, en la Marisma de Cordovilla (38° 32' 03" N, 01° 37' 23" O, 514 m s.n.m.) y en la Laguna de Alboraj (38° 35' 01" N, 01° 39' 09" O, 584 m s.n.m.), dentro del término municipal de Tobarra. Sin embargo, la especie no ha sido registrada en otras marismas cercanas, como las de Agramón (Moreno et al., 2018). La segunda población se encuentra en el suroeste de la capital de Albacete y se subdivide en dos subpoblaciones bien diferenciadas; “El Vado”, en las inmediaciones de la Urbanización Casas Viejas (38° 58' 16" N, 01° 56' 45" O, 584 m s.n.m.) y “El Albaceal”, entre la Urbanización Molino Ojos de San Jorge y la Urbanización Riachuelos (38° 56' 05" N, 01° 58' 01" O, 668 m s.n.m.). Ambas poblaciones se encuentran dentro de la Provincia Centroibérica Mediterránea, Subprovincia Castellana, concretamente en las comarcas Jumillano-Hellinense y Manchego Albaceteña del sector manchego, según la clasificación de Rivas-Martínez et al. (2007). Por este motivo, *L. admirabile* debe considerarse un endemismo con una distribución extremadamente restringida a estos territorios (Moreno et al., 2018). Desde un punto de vista de conservación, *L. admirabile* está catalogada como En Peligro (EN B1 ab(iii)+2ab(iii)) según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2012).

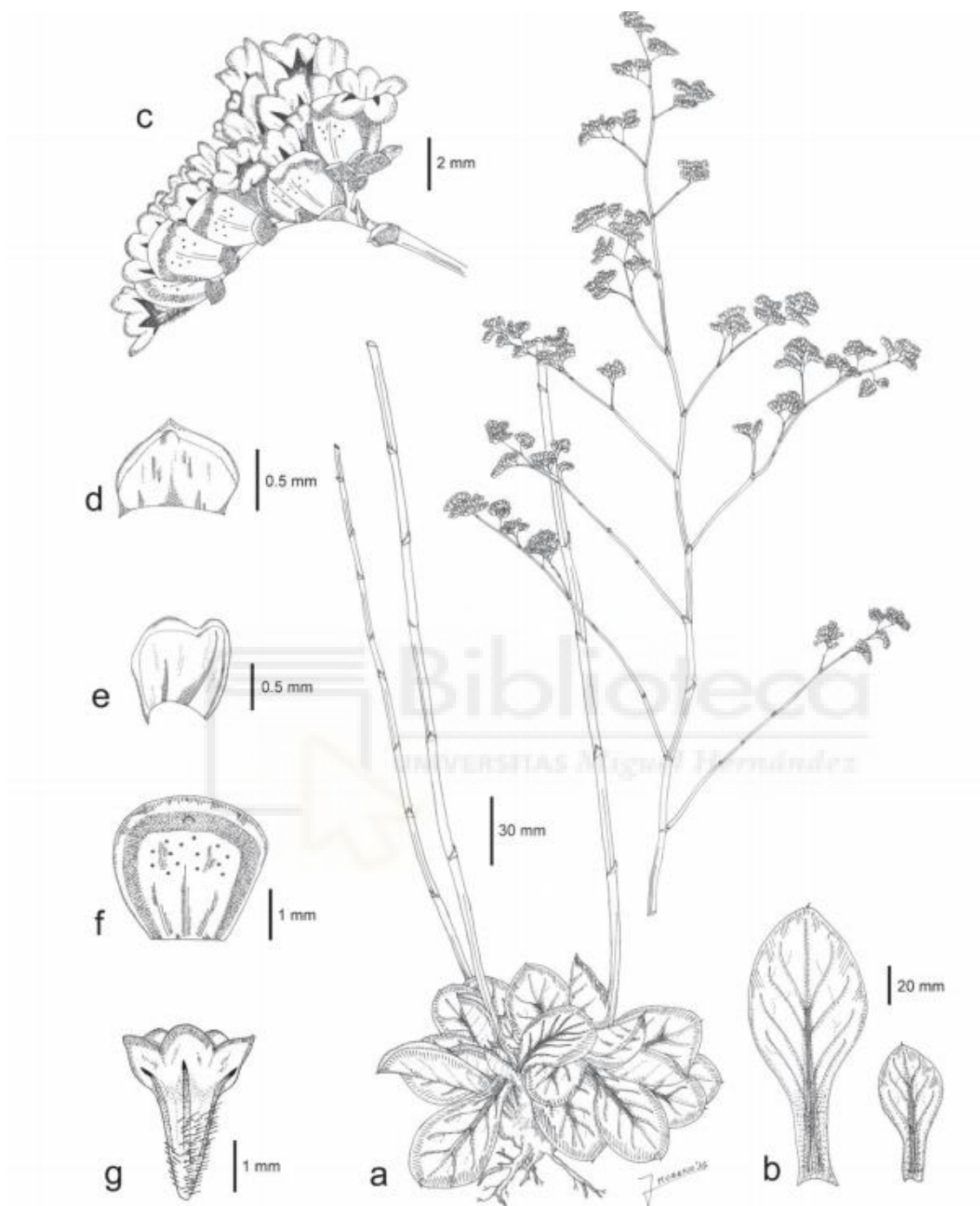


Figura 1. *Limonium admirable* J. Moreno, Terrones, M.A. Alonso, Juan & M.B. Crespo (holotipo ABG-71927). a) hábito; b) hojas basales en roseta; c) espiguillas; d) rama exterior; e) bráctea media; f) rama interna; g) cáliz. Fuente: Moreno et al. (2018).

1.3. Ambientes salinos y halófitos.

Los ecosistemas salinos comprenden una variedad de hábitats como saladares, lagunas, ramblas y cursos fluviales estacionales con aguas salobres, los cuales presentan suelos con

alta concentración de sales. La formación de estos suelos es el resultado de la interacción de diversos factores litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y antrópicos (Porta et al., 2003). Para que la acumulación de sales genere un proceso de salinización, es imprescindible que el clima sea lo suficientemente árido como para que las precipitaciones no arrastren las sales hacia capas profundas del suelo o acuíferos. Asimismo, es necesario que existan periodos prolongados de intensa radiación solar que favorezcan la evaporación y el ascenso capilar de las sales, y que el sustrato presente una baja capacidad de drenaje (Álvarez-Rogel, 1997; Porta et al., 2003). Los suelos de los ecosistemas salinos suelen presentar una tonalidad blanquecina debido a la elevada concentración de sales, las cuales pueden formar costras salinas en la superficie del terreno como resultado de procesos de evaporación y ascenso capilar (Álvarez-Rogel, 1997). Además, el desarrollo vegetal en estos ambientes está condicionado por factores adversos como la salinidad y la disponibilidad de humedad, suponiendo una fuerte presión selectiva sobre la flora. Como consecuencia, las especies que logran colonizar estos hábitats han desarrollado adaptaciones específicas a estas condiciones extremas. No obstante, esto no se traduce en una gran diversidad florística, sino en la existencia de un número reducido de especies con poblaciones densas y bien establecidas. Entre ellas destacan las plantas halófilas, plantas adaptadas a la salinidad elevada, que constituyen una flora singular de gran interés botánico y ecológico (Lendínez, 2010).

Las plantas halófitas han desarrollado adaptaciones fisiológicas y bioquímicas que les permiten completar su ciclo de vida en ambientes con concentraciones de sales de al menos 200 mM, llegando a crecer y sobrevivir en suelos altamente salinos (Flowers y Colmer, 2008). Sin embargo, la comprensión de los mecanismos fisiológicos de tolerancia a la salinidad sigue siendo un desafío, ya que se trata de un fenómeno complejo que involucra múltiples procesos adaptativos (Flowers y Colmer, 2008; Flowers et al., 2010). Dentro de estos mecanismos, los más relevantes incluyen la acumulación y compartimentalización de iones para el ajuste osmótico, la excreción de sales a través de glándulas especializadas, la síntesis de solutos compatibles, la capacidad de absorber y mantener niveles adecuados de K^+ en presencia de elevadas concentraciones de Na^+ , y la regulación del ingreso de iones salinos en la corriente de transpiración (Flowers y Colmer, 2008; Flowers et al., 2010). Además, en diversas especies halófilas la tolerancia a la salinidad suele estar asociada con otras adaptaciones a condiciones ambientales extremas, como la resistencia a la inundación (Colmer y Voisenek, 2009). En este marco, una estrategia clave en las plantas halófilas es el uso de sales para el ajuste osmótico, permitiéndoles reducir su potencial hídrico y evitar la deshidratación. La acumulación de iones potencialmente tóxicos en las hojas sin comprometer la viabilidad celular es un mecanismo fundamental para la supervivencia en ambientes con elevada

salinidad (Greenway y Munns, 1980). Entre las principales estrategias de adaptación destaca la succulencia, que reduce la respiración foliar y favorece el almacenamiento de K^+ en las vacuolas. Algunas especies suculentas pueden acumular elevadas concentraciones de K^+ incluso en suelos con bajo contenido de Na^+ . Otra estrategia de tolerancia a la salinidad consiste en la localización de sales en estructuras especializadas, como los tricomas epidérmicos, que recubren la superficie foliar y limitan la acumulación de iones en el protoplasma celular. Este tipo de indumento es característico de plantas que habitan suelos salinos y no está presente en especies de ambientes no salinos (Strogonov y Kabanov, 1967). Otro mecanismo importante para evitar la acumulación excesiva de iones tóxicos es la excreción de sales a través de estructuras especializadas como las glándulas salinas. Estas glándulas, altamente selectivas, pueden eliminar grandes cantidades de sales mediante secreciones en la superficie foliar, expulsando Na^+ y Cl^- en proporciones similares (Flowers y Yeo, 1986; Flowers et al., 2010). Este mecanismo es particularmente notorio en distintas especies del género *Limonium*, donde la presencia de glándulas salinas es un rasgo morfológico característico y fácilmente identificable (Flowers y Colmer, 2008).

El sureste de la península ibérica se caracteriza por un clima árido, con temperaturas elevadas y precipitaciones escasas, condiciones que favorecen la acumulación de sales en el suelo y la presencia de ambientes salinos, especialmente saladares. La formación de estos ambientes está determinada por diferentes procesos de salinización. En la península ibérica, los principales ciclos responsables de la acumulación de sales son los marinos y los continentales (Porta et al., 2003). Los ciclos marinos ocurren en llanuras costeras y además son los principales responsables de la existencia de saladares litorales, en cuyo caso las sales pueden proceder de capas freáticas someras con elevada salinidad, del efecto de las mareas que inundan periódicamente el terreno, o de la deposición de sales transportadas por el viento en forma de aerosoles marinos (Porta et al., 2003). Además, los ciclos continentales de acumulación secundaria de sales tienen lugar en regiones interiores alejadas del litoral, donde las sales son transportadas y acumuladas a cierta distancia de su origen (Porta et al., 2003). La meteorización de rocas y minerales libera sales que se disuelven e incorporan progresivamente al suelo y a los cuerpos de agua (Álvarez-Rogel, 1997). Con ello, los ecosistemas salinos son, por naturaleza, hábitats fragmentados, ya que muchas de las especies vegetales que los habitan están estrechamente ligadas a las condiciones salinas (Álvarez-Rogel et al., 2000, 2001, 2007; Lendínez, 2010). En este contexto, la fragmentación de sus poblaciones es un fenómeno inherente a su dinámica evolutiva, lo que convierte a estos ecosistemas en verdaderos centros de especiación. Dichos hábitats actúan como "islas" de biodiversidad separadas por grandes distancias, en las que se encuentran especies vegetales endémicas adaptadas exclusivamente a suelos salinos y áreas geográficas

concretas. Ejemplo de ello es el género *Limonium*, cuyas especies pueden ser endémicas de determinados territorios o bien formar parte de la flora halófila amenazada (Erben, 1993; Roselló et al., 1997).

1.4. Conservación de la diversidad vegetal.

La diversidad vegetal constituye un comportamiento esencial para la estabilidad y funcionalidad de los ecosistemas. Su presencia garantiza la continuidad de procesos ecológicos fundamentales como el reciclado de nutrientes, la regulación del ciclo hidrológico o la captura de carbono. Además, la riqueza genética dentro y entre las especies vegetales favorece su capacidad adaptativa frente a enfermedades, perturbaciones ambientales y escenarios de cambio climático, aumentando así su resiliencia ecológica (Dirzo y Raven, 2003; Reynolds et al., 2012). Las plantas no solo regulan procesos abióticos, sino que también sustentan numerosas relaciones bióticas al formar parte de la base alimenticia de múltiples redes tróficas, donde diversos grupos faunísticos como polinizadores, herbívoros y dispersores dependen de ellas para sobrevivir. Por este motivo, su pérdida puede desencadenar alteraciones profundas en las dinámicas ecológicas y provocar extinciones (Dirzo y Raven, 2003).

La conservación de especies autóctonas adquiere un valor prioritario, ya que estas están especialmente adaptadas a las condiciones ecológicas locales. Su desaparición no solo implica una pérdida genética, sino también la ruptura del equilibrio funcional de sus ecosistemas, lo que puede afectar indirectamente a factores tan relevantes como la estabilidad del suelo, calidad del agua o la salud humana (Cardinale et al., 2012; Bitá-Nicole y Dhyani, 2025). Aunque en ciertos entornos urbanos o degradados las especies exóticas pueden mostrar una mayor tolerancia al estrés, también existe el riesgo de que interfieran con las dinámicas ecológicas naturales, comprometiendo su funcionalidad del ecosistema a largo plazo (De Carvalho et al., 2004). Ante este problema, se han desarrollado diversas estrategias para proteger la biodiversidad vegetal, principalmente clasificadas en conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* se basa en mantener las especies en sus hábitats naturales, favoreciendo la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos. En esta forma de conservación se incluyen áreas protegidas, Parques Naturales, Reservas Naturales, Zonas de Especial Conservación, etc. (Heywood y Dulloo et al., 2005). Por otro lado, la conservación *ex situ* implica la preservación del material genético fuera de su medio natural. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran los bancos de semillas, los cultivos *in vitro*, la criopreservación y las colecciones vivas, que generalmente se encuentran en los jardines botánicos. Estas últimas no solo permiten conservar especies amenazadas, sino que

también actúan como centros de investigación y educación (Primarck y Miller-Rushing, 2009; Smith y Pence, 2017).

Los jardines botánicos desempeñan un papel complementario en la conservación *ex situ*, ya que promueven el conocimiento, la investigación y la difusión del mundo vegetal. Sus colecciones agrupan plantas vivas siguiendo criterios científicos, tanto sistemáticos como ecológicos, y se apoyan en recursos como herbarios, bibliotecas o colecciones etnobotánicas. Además, cuentan con instalaciones para la investigación y conservación, como laboratorios, bancos de germoplasma o cultivos *in vitro*, así como espacios educativos. Aunque las especies son cultivadas en condiciones óptimas, suelen organizarse de forma artificial, lo que permite reunir una gran diversidad taxonómica y ecológica, favoreciendo estudios comparativos en evolución, ecología y filogenia (De Carvalho et al., 2004; DeBussche et al., 2004; Miller-Rushing et al., 2007).

Las colecciones vivas ofrecen ventajas importantes en la conservación, especialmente para especies con semillas recalcitrantes o inviables (FAO, 2010). Al mantener individuos vivos, se preserva material genéticamente representativo, permitiendo la propagación y la posible introducción futura (Heywood, 2009). Además, facilitan el acceso directo para la investigación, la docencia y la sensibilización a nivel social, especialmente a través de instituciones como los jardines botánicos (Miller-Rushing et al., 2007). Estos entornos controlados permiten estudiar en detalle rasgos morfológicos, fisiológicos y reproductivos, contribuyendo a diversas disciplinas científicas (De Carvalho et al., 2004). Sin embargo, al encontrarse fuera de su hábitat, las especies pueden perder interacciones ecológicas esenciales, afectando a su comportamiento y reduciendo además su adaptabilidad (DeBussche et al., 2004). Asimismo, estas colecciones no siempre reflejan la diversidad genética natural, lo que puede derivar en endogamia y en una menor viabilidad a largo plazo (FAO, 2010; Heywood, 2009). A ello se suman los elevados costes técnicos y económicos que implica su mantenimiento.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

2.1. Legislación y situación actual.

L. admirabile es un endemismo albacetense que presenta niveles de amenaza elevados. Según la catalogación de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN), la categoría de amenaza para *L. admirabile* es *En Peligro* EN B1ab(iii)+2ab(iii) (UICN, 2012). En consecuencia, esta especie presenta un elevado nivel de amenaza, situándola como especie En Peligro de Extinción (Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la

Biodiversidad, Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico). Además, pese a que el género *Limonium* se encuentra protegido y reconocido por el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha, *L. admirabile* no se encuentran incluido en dicho catálogo. Igualmente, *L. admirabile* no se encuentra reconocidos por figuras de protección y conservación de la biodiversidad, de tal modo que no presentan un Plan de Recuperación en la actualidad, a pesar de las amenazas de su hábitat. Es más, no se encuentra legalmente protegida a nivel nacional ni está incluida en los Atlas, Libros Rojos o Listas Rojas. No obstante, de acuerdo con lo estipulado en el artículo 45 de la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y con el artículo 6 de la Directiva 92/43/CEE, respecto a las ZEC, la administración autonómica de Castilla-La Mancha elaboró el Plan de Gestión del espacio perteneciente a la Red Natura 2000 “Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj” (Cubero, 2015), a fin de mejorar la conservación del enclave donde aparece *L. admirabile*.

Actualmente, el endemismo *L. admirabile* se caracteriza por su grado de amenaza ya que, aunque se encuentra en la ZEC “Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj” (ES4210011), hay diferentes factores antrópicos que afectan directamente a su estado de conservación. Las poblaciones de *L. admirabile* a lo largo del tiempo se han visto afectadas por una serie de actividades y acontecimientos los cuales han afectado no solo a sus comunidades sino también el área. La mayoría de los acontecimientos son provenientes de actividades antrópicas, las cuales ejercen una gran influencia sobre el ecosistema. La pérdida y fragmentación del hábitat es uno de los principales factores dado que, en el transcurso del tiempo, el área ha sufrido transformaciones para uso agrícola y urbano, implicando la desaparición y por ende fragmentación de las poblaciones vegetales existentes, llegando a limitar la conectividad entre poblaciones. La actividad agrícola y ganadera ha intensificado el laboreo del suelo, mientras que la expansión urbana ha contribuido a una fuerte transformación del paisaje, afectando de forma directa a zonas de especial sensibilidad ecológica (Domínguez Imoberdorff, 2024). Además, la presencia de especies exóticas invasoras (EEI), definida por la Ley 42/2007, del 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, como “aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor o por el riesgo de contaminación genética”, ha influido negativamente en el medio ambiente ya que compiten con las especies autóctonas y llega a desplazar sus poblaciones. El cambio climático es un factor que afecta negativamente a las poblaciones de dicha especie, y en especial en este tipo de áreas ya que los saladares son áreas con una elevada vulnerabilidad.

2.2. Justificación.

Limonium admirabile es una especie endémica de la provincia de Albacete, cuya presencia se restringe a un área muy localizada dentro de un ecosistema salino de gran fragilidad. Pese a su singularidad, se encuentra catalogado como En Peligro (EN) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2012), pero no está incluida en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha, ni en los anexos de la Directiva Hábitats (92/43/CEE). En la actualidad tampoco cuenta con un plan de recuperación o conservación específico a pesar de desarrollarse en un espacio protegido como Zona de Especial Conservación (ZEC) ES4210011. Esta situación refleja una carencia en lo referente a las estrategias de conservación tanto a nivel local como autonómico. Su exclusión de los catálogos oficiales y la inexistencia de medidas activas de gestión aumentan su vulnerabilidad frente a presiones como la fragmentación del hábitat, la expansión urbanística, la competencia con especies exóticas invasoras y los efectos del cambio climático.

En este contexto, resulta prioritario generar conocimiento científico que permita justificar su inclusión en marcos normativos de protección, así como establecer bases sólidas para su conservación, lo que implica documentar su distribución, evaluar su estado poblacional y estudiar su biología y ecología, con especial atención a su comportamiento frente a condiciones ambientales limitantes, como la salinidad. En particular, conocer su plasticidad fenotípica frente a factores de estrés salino resulta fundamental para evaluar su capacidad adaptativa. Esta información es clave para poder diseñar estrategias de conservación en especial, *ex situ*, como la incorporación de semillas en bancos de germoplasma o su mantenimiento en colecciones vivas en jardines botánicos, lo que permitirá conservar recursos accesibles a largo plazo.

Este Trabajo fin de Grado se enmarca en la necesidad de generar datos científicos aplicados mediante el análisis de la respuesta morfológica de *L. admirabile* bajo diferentes niveles estrés salino. Para ello, diferentes individuos han sido expuestos a diferentes gradientes de salinidad, y se han empleado metodologías estadísticas con software especializado (R y Excel), con el fin de aportar información útil que contribuya a futuras intervenciones de cara a la conservación de la especie.

2.3. Objetivos.

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es evaluar los cambios en las características fenotípicas de *L. admirabile* a lo largo del gradiente de salinidad, considerando tanto condiciones estresantes como no estresantes con el fin de poder

establecer las bases sobre la idoneidad de la implantación de *L. admirabile* en Jardines Botánicos (i.e., colecciones vivas) como medida de conservación *ex situ*. Para llevar a cabo este objetivo, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

Objetivo 1. Analizar la variabilidad fenotípica de *L. admirabile* a diferentes concentraciones de salinidad.

Objetivo 2. Identificar el umbral de tolerancia a la salinidad de *L. admirabile*, determinando los niveles óptimos de salinidad para su crecimiento y desarrollo *ex situ*.

Objetivo 3. Establecer un Plan de Conservación *ex situ*, según los resultados obtenidos, para *L. admirabile* en colecciones vivas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio.

El presente estudio se localiza en el Saladar de Cordovilla (38° 32' 03,6'' N, 01° 37' 23,5'' O), un enclave situado en el municipio de Tobarra, en el sureste de la provincia de Albacete. Esta zona se encuentra a una altitud de 514 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con la clasificación bioclimática propuesta por Rivas-Martínez et al. (2007), el área se enmarca dentro del piso mesomediterráneo semiárido, lo que implica un régimen climático caracterizado por temperaturas elevadas y precipitaciones reducidas. Desde el punto de vista biogeográfico, pertenece a la provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega, concretamente al distrito Jumillano-Socovense del sector Manchego. El Saladar de Cordovilla es uno de los humedales salinos continentales mejor conservados del país y, junto con el Saladar de Agramón y la Laguna de Alboraj forma parte de una Zona de Especial Conservación (ZEC) ES4210011, incluida en la Red Natura 2000 a través de la Directiva Hábitats 92/43/CEE. Además, destaca por su elevada diversidad ambiental y por su notable valor ecológico y botánico de la vegetación existente (Moreno, 2018).

Los saladares son ecosistemas muy frágiles y sensibles a perturbaciones causadas por actividades humanas que alteran variables críticas como la humedad del suelo o la microtopografía (González-Alcaraz et al., 2000). Además, su fragilidad también es debida a las condiciones ambientales extremas en las que se desarrollan, caracterizadas por los suelos con alta salinidad tanto superficial como profunda, inherente a los materiales arcillo-calcáreos sobre los que se asientan (González-Alcaraz et al., 2000; Moreno et al., 2018). La elevada evaporación, unida a la aridez y al escaso drenaje, favorece la acumulación de sales, condicionando la vegetación del entrono (González-Alcaraz et al., 2000; Moreno et al., 2018). En estos ambientes prospera una vegetación altamente especializada, integrada por

especies halófitas, halonitrófilas y gipsófilas, muchas de ellas con distribución restringida (Moreno et al., 2018). En ellas destaca la presencia de endemismos del género *Limonium*, como *L. tobarrense* (Moreno et al., 2016) y *L. admirabile* (Moreno et al., 2018), entre otros.

La vegetación halófila se distribuye siguiendo un patrón zonal en el ambiente salino (Moreno et al., 2018). En los sectores más salinos predominan las especies suculentas como *Arthrocaulon macrostachyum* (Moric.) Piirainen y G.Kadereit y *Salicornia fruticosa* (L.). Según disminuye la salinidad, la vegetación varía y predominan especies no suculentas, como las especies del género *Limonium*, *Lygeum spartum* L. y algunos árboles pertenecientes al género *Tamarix* L. En ambientes degradados, como saladares sometidos a un alto grado de degradación, fragmentación y nitrificación, se establece matorral halonitrófilo, donde predomina *Suaeda vera* Forsskal ex J.F Gmelin, que suele estar acompañada de especies del género *Limonium* y *L. spartum* (González-Alcaraz et al., 2000; Moreno et al., 2018).

3.2. Recolección en campo y montaje experimental.

Para llevar a cabo este estudio, se recolectó material vegetal en el Saladar de Cordovilla. Así, se seleccionaron al azar cinco individuos adultos de *L. admirabile* y se recolectaron (i.e., pliegos testigo), los cuales fueron prensados en el laboratorio de Botánica de la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH). Además, se recolectaron semillas en campo de cada uno de estos individuos. Posteriormente, estas semillas se sembraron en otoño de 2023 en un sustrato de turba-vermiculita (3:1) a diferentes gradientes de salinidad [i.e., 0% (control), 1%, 2%, 4% y 6% (p/v)] bajo condiciones controladas de luz y temperatura (i.e. 12 horas de luz a 25°C y 12 horas de oscuridad a 20°C). Pasados dos meses desde que fueron sembradas, se tomaron medidas de los diferentes caracteres morfológicos (i.e., diámetro de rosetas tanto longitudinal como transversal, longitud y anchura del limbo y del pecíolo de la hoja más larga y la más corta) de los ejemplares cada mes a lo largo de un año (i.e., de enero 2024 a enero 2025). Cabe destacar que la hoja más larga y la hoja más corta se marcaron en el primer mes de medidas, para que fuera una constante en el desarrollo del experimento.

3.3. Análisis estadísticos.

Para evaluar el efecto del tratamiento a lo largo del tiempo para cada rasgo medido se realizaron diversos Análisis de Varianza (ANOVAs). Para ello, se construyeron modelos lineales, siendo el rasgo seleccionado la variable respuesta y actuando el tratamiento, el mes y la interacción entre ambos como predictores. Cabe destacar que en el modelo se

anidaron los diferentes individuos a cada tratamiento. Además, previamente se comprobó la independencia de datos, así como su distribución normal y la homocedasticidad (i.e., varianzas entre grupos homogéneas). Estos análisis se hicieron en el software estadístico R (R Core Team, 2024). En particular, se empleó el paquete *vegan* (Okasanen et al., 2022), el cual proporciona herramientas especializadas para el análisis ecológico.

Además, para explorar de forma integrada la variabilidad del crecimiento de *L. admirabile* en función del tratamiento y el tiempo, se hizo un análisis de componentes principales (PCA), uno por cada mes de tratamiento, donde se consideraron las medias totales de cada parámetro analizado de los individuos. Para ello, las medidas previamente se estandarizaron para evitar diferencias de escala que pudiesen afectar los resultados. El análisis se llevó a cabo en el programa estadístico R (R Core Team, 2024).

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de Componentes Principales

El PCA explicó el 80,47% de la varianza total, explicando el eje 1 el 71,42% y el eje 2 el 9,05%. El diagrama de ordenación permitió identificar patrones generales en la respuesta morfológica de las plantas, al considerar de manera conjunta los diámetros de las dos rosetas (roseta 1 y roseta 2). En este contexto, el tratamiento *D* se situó en el extremo derecho del eje PCA1, lo que se asoció con un mayor crecimiento vegetativo, reforzando los resultados observados previamente en los gráficos de evolución de las rosetas (Figuras 4 y 5). En contraste, los tratamientos *A* y *B* tendieron a agruparse en la parte izquierda de la gráfica, reflejando valores morfológicos más bajos o intermedios; mientras que los tratamientos *C* y *E* se localizaron cerca del centro del plano, indicando una respuesta menos marcada en relación con las dimensiones analizadas. En conjunto, la disposición de los puntos sugirió que el tratamiento *D* no solo promovió un mayor desarrollo de las rosetas, sino que también mostró un comportamiento más uniforme, diferenciándose con claridad del resto de tratamientos. En la Figura 3 se muestra la variabilidad morfológica sobre los dos primeros ejes (PC1 y PC2), facilitando la interpretación del grado de correlación entre cada variable y los componentes derivados del análisis. El eje 1 (PC1) mostró una fuerte influencia de las variables LR1 (0,703) y LR2 (0,611) y también de LPL (0,321), aunque en menor medida, las cuales reflejaron el crecimiento longitudinal de las rosetas, por lo que este eje puede interpretarse como un gradiente de crecimiento vegetativo. Por otro lado, el eje 2 (PC2) se caracterizó por una carga positiva en LR2 (0,503), pero negativas en LPC (-0,439), LR1 (-0,462) y LHC (-0,347), reflejando una estructura más compleja en la distribución de los rasgos (Tabla 1).

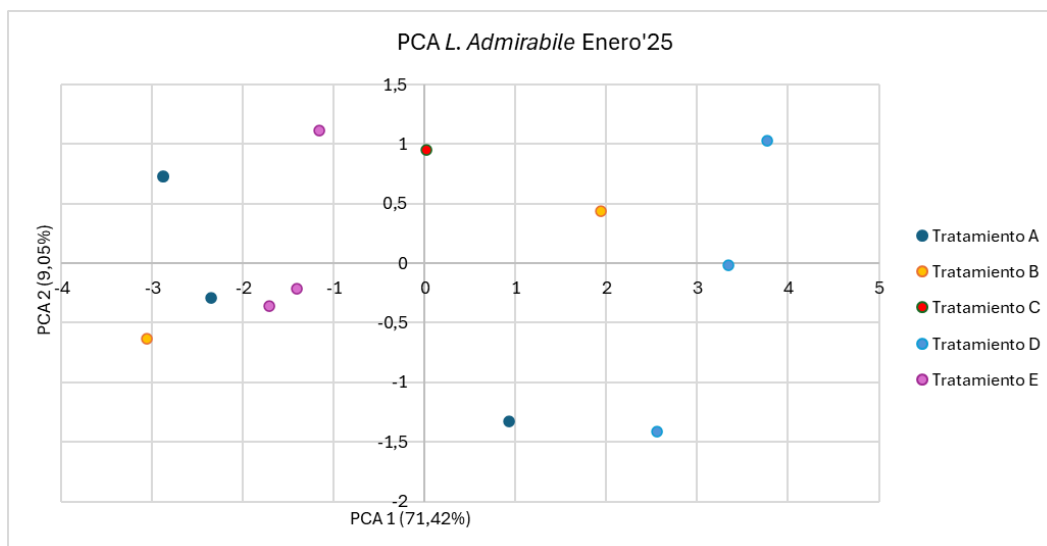


Figura 3. Análisis de Componentes Principales (PCA) del crecimiento de *Limonium admirabile* en el mes de enero del año 2025.

Tabla 1. Relación de las variables con el eje 1 (PCA1) y el eje 2 (PCA2) para *Limonium admirabile* en enero de 2025.

Parámetro	PC1	PC2
Roseta longitudinal	0,70310207	-0,46231942
Roseta transversal	0,61089137	0,50273515
Longitud Hoja larga	0,11796933	-0,14012377
Ancho hoja larga	0,03060704	0,13660545
Long Peciolo hoja larga	0,32095629	0,22924195
Ancho peciolo hoja larga	-0,06698431	-0,07600035
Long Hoja corta	0,0211312	-0,34702053
Ancho hoja corta	-0,00703935	-0,33699261
Long Peciolo hoja corta	0,09790844	-0,43826511
Ancho peciolo hoja corta	0,00486661	-0,10407164

Tabla 2. Comparación de rangos morfológicos de *L. admirabile* entre el hábitat natural y los tratamientos A, B, C, D y E pertenecientes a enero de 2025. Todas las medidas están expresadas en centímetros. Las letras indican los diferentes tratamientos de salinidad: A, 6%; B, 4%; C, 2%; D, 1%; E, 0%.

Parámetro	Rango ecológico	A	B	C	D	E
Roseta longitudinal	Sin dato	17,7-21,3	18,3-22,5	18,4-21	21-24,7	17,8-21,1
Roseta transversal	Sin dato	16-19,8	17-22	18-21,2	17,2-23,8	17,5-19,7
Longitud Hoja larga	2,7-9,86	6-7	6-7,3	6-6,4	6,5-8,1	5,3-7,5
Ancho hoja larga	1,1-5,98	3,5-4,9	3,7-4,3	3-5,7	3-5,4	3,1-5,3
Long Peciolo hoja larga	0,5-2,8	1-2,9	2,7-3,9	2,5-7	3,7-5,7	0,9-3,7
Ancho peciolo hoja larga	Sin dato	0,8-5,2	0,8-1-4	1-1,4	0,7-1,6	1-5,3
Long Hoja corta	2,7-9,86	4-5,2	4,1-4,5	4-4,2	3-5,2	3-5,2
Ancho hoja corta	1,1-5,98	3,4-4,6	3,1-4,5	3,9-4	3,2-4,3	2,4-4,3
Long Peciolo hoja corta	0,5-2,8	1,6-3,2	0,8-2,3	1,8-2,3	2,1-3,8	1,1-3
Ancho peciolo hoja corta	Sin dato	0,8-1,5	1-1,4	0,9-1,3	0,7-1,6	0,8-1,6

4.2. Efecto de la salinidad a lo largo del tiempo

El crecimiento de la roseta basal longitudinal fue progresivo (Figura 4). Sin embargo, se observaron diferencias notables entre tratamientos, especialmente a partir del mes de julio. En este sentido, se apreció que para que los individuos inicien su desarrollo es necesaria una elevada concentración de sal en el sustrato, lo que se traduce en un crecimiento más lento en el *tratamiento E* respecto al resto. No obstante, en todos los tratamientos se observó que, a medida que avanzaba el desarrollo de las plantas, las condiciones del medio se mostraron porgresivamente más restrictivas (Anexo III). Además es importante destacar que el *tratamiento D* presentó el mayor crecimiento de los individuos a lo largo del experimento (Figura 4).

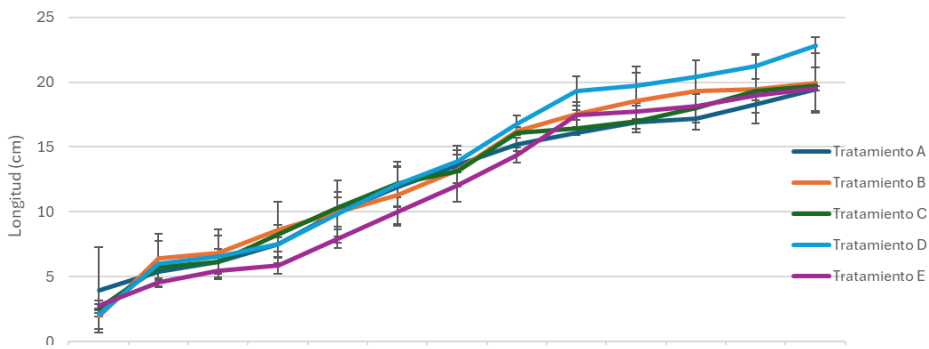


Figura 4. Promedio de la longitud de la roseta longitudinal de *Limonium admirabile* en diferentes tratamientos (A (6%), B (4%), C (2%), D (1%), E (control)) a lo largo de 13 meses.

Se observó un crecimiento progresivo de la roseta basal transversal en todos los tratamientos, aunque con ciertas oscilaciones a partir del segundo semestre (Figura 5). Al inicio del experimento, el desarrollo de los individuos fue relativamente homogéneo en todos los tratamientos excepto en el *tratamiento E*, donde el crecimiento fue visiblemente más lento, lo que sugiere una mayor exigencia en cuanto a concentración salina para poder iniciar su desarrollo. A partir del mes de agosto se observó un crecimiento transversal superior del *tratamiento D* respecto de los demás tratamientos, manteniéndose más favorable para el desarrollo vegetativo de la especie. Este patrón reforzó lo observado en la Roseta longitudinal y confirma que los individuos de *L. admirabile* presentaron un mayor crecimiento cuando las condiciones de salinidad fueron moderadamente bajas (1%), lo que podría interpretarse como un rango de salinidad óptimo para su desarrollo (Figura 5).

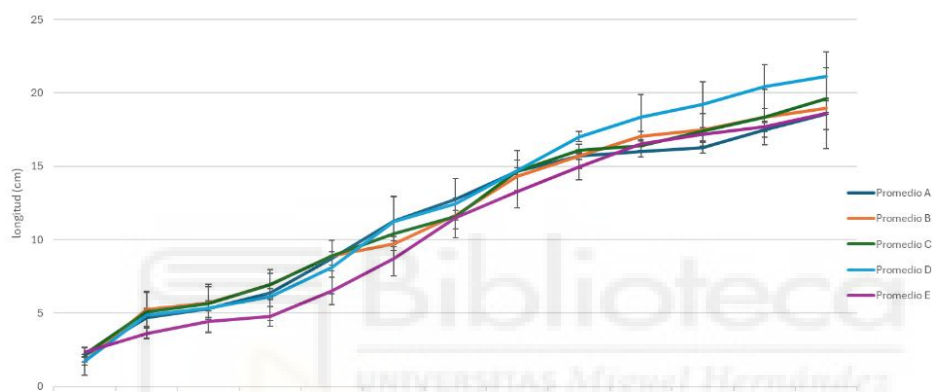


Figura 5. Promedio de la longitud de la roseta transversal de *Limonium admirabile* en diferentes tratamientos (A (6%), B (4%), C (2%), D (1%), E (control)) a lo largo de 13 meses.

4.3. Interacción entre tratamiento y tiempo en los rasgos fenotípicos de *Limonium admirabile*

El análisis de varianza mostró que algunos rasgos fenotípicos de *L. admirabile* tienen efectos significativos debido a la interacción del tiempo de crecimiento y a los diferentes tratamientos de salinidad ($P \leq 0,01$) (Tabla 3). Además, la variable de la longitud de la roseta longitudinal mostró una interacción significativa tanto para la interacción entre el tratamiento y mes ($P \leq 0,01$) como para la interacción del tratamiento con el mes e individuo ($P \leq 0,01$). De igual modo, la longitud de la roseta transversal (LR2) también mostró interacciones significativas tanto para la interacción entre el tratamiento y el mes ($P \leq 0,01$) como para las interacciones del tratamiento con el mes e individuo ($P \leq 0,01$), lo que refuerza que el desarrollo transversal de la roseta también está limitado por la interacción entre el tiempo del experimento y el tipo de tratamiento (Anexo I y Anexo II). Otro rasgo que muestra interacción significativa tanto de la interacción del tratamiento con el mes ($P \leq 0,01$) como

para el tratamiento con el mes e individuo ($P \leq 0,01$) es la Longitud del Peciolo de la hoja más larga (LPL), cuyo crecimiento mostró sensibilidad frente a cambios en la salinidad a lo largo del tratamiento. En cambio, otros rasgos morfológicos, como la anchura del limbo de la hoja más larga (AHL), longitud del limbo de la hoja más larga (LHC), longitud del peciolo de la hoja más corta (LPC) o anchura del peciolo de la hoja más corta (APC) no presentaron interacciones significativas entre el tiempo y el tratamiento ($P > 0,05$). Este hecho indica la posibilidad de que algunos rasgos no se vieron influenciados significativamente por los niveles de salinidad ni por el tiempo (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del ANOVA para las variables morfológicas de *Limonium admirabile* considerando los efectos del tratamiento, el mes y el individuo. Abreviaturas: Trat, Tratamiento; Ind, Individuo; g.l., grados de libertad.

Variable	Predictor	g.l.	F-valor	P-valor
Roseta longitudinal	Trat	4	10,2757	2,454e-07
	Mes	1	3044,8204	<2,2e-16
	Trat x Mes	4	6,3884	9,9342e-05
	Trat x Mes x Ind	4	8,7172	2,543e-06
Roseta transversal	Trat	4	8,7898	2,277e-06
	Mes	1	3593,3856	<2,2e-16
	Trat x Mes	4	4,8509	0,001072
	Trat x Mes x Ind	4	6,7492	5,303e-05
Longitud hoja larga	Trat	4	4,0583	0,003807
	Mes	1	518,3306	<2,2e-16
	Trat x Mes	4	2,1104	0,082585
	Trat x Mes x Ind	4	0,5085	0,729523
Ancho hoja larga	Trat	4	4,0583	0,003807
	Mes	1	518,3306	< 2,2e-16
	Trat x Mes	4	2,1104	0,082585
	Trat x Mes x Ind	4	0,5085	0,729523
Longitud Peciolo hoja larga	Trat	4	5,6714	0,0002901
	Mes	1	292,3898	< 2,2e-16
	Trat x Mes	4	5,9831	0,0001771
	Trat x Mes x Ind	4	6,0081	0,0001702
Ancho peciolo hoja larga	Trat	4	0,2573	0,9048
	Mes	1	132,8138	<2e-16
	Trat x Mes	4	1,2806	0,2805
	Trat x Mes x Ind	4	0,9369	0,4445
Longitud Hoja corta	Trat	4	0,1644	0,9561
	Mes	1	286,3864	<2e-16
	Trat x Mes	4	0,6632	0,6186
	Trat x Mes x Ind	4	0,3331	0,8553
Ancho peciolo hoja corta	Trat	4	0,0875	0,9862
	Mes	1	287,9370	<2e-16
	Trat x Mes	4	0,2467	0,9113
	Trat x Mes x Ind	4	0,1065	0,9801
Longitud Peciolo hoja corta	Trat	4	0,1854	0,9457
	Mes	1	78,4328	3,048e-15
	Trat x Mes	4	0,7006	0,5928
	Trat x Mes x Ind	4	0,8864	0,4739
Ancho peciolo hoja corta	Trat	4	0,6564	0,6233
	Mes	1	157,7951	<2e-16
	Trat x Mes	4	1,8785	0,1174
	Trat x Mes x Ind	4	1,1933	0,3164

5. DISCUSIÓN

5.1. Variabilidad fenotípica de *L. admirabile* y umbrales de tolerancia.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que *L. admirabile* tiene una respuesta fenotípica variable ante diferentes concentraciones de salinidad, con un desarrollo óptimo bajo condiciones de salinidad moderada (*Tratamiento D*, 1% NaCl). En cambio, tanto en ausencia de sales (0% NaCl, control) como concentraciones más elevadas (>2% NaCl) el crecimiento de las rosetas y de otros rasgos se vio mermado, como es el caso de la longitud y el ancho de la hoja más larga, y el limbo y peciolo de la hoja más corta. De ello cabe destacar que en los tratamientos donde más se observó ese hecho, por lo general, fueron en los *Tratamientos B* (4% NaCl) y *C* (2% NaCl). Esto coincide con lo observado en la fase de germinación de *L. admirabile* (Moreno et al., 2022). En este trabajo se evidenció que la germinación de *L. admirabile* se reduce drásticamente a partir del 2% de NaCl y se vuelve nula en concentraciones de 4% de NaCl o superiores (Moreno et al., 2022), lo que sugiere que la especie necesita para completar su ciclo vital un rango específico de salinidad. Esta respuesta sugiere que la especie se comporta como una halófita estricta, ya que para completar su ciclo biológico necesita hacerlo en presencia de sal.

Es más, estos resultados concuerdan con estudios generales sobre el género *Limonium*, en los cuales se ha descrito que muchas especies requieren cierto nivel de salinidad para prosperar debido a su especialización fisiológica (González-Orenga et al., 2021). Entre las adaptaciones más relevantes de *Limonium* se encuentran la presencia de glándulas de sal que secretan iones tóxicos al exterior, el uso de osmolitos compatibles para el ajuste osmótico y la activación de sistemas antioxidantes eficientes que neutralizan el estrés oxidativo generado por el exceso de sal (González-Orenga et al., 2021). Así, estas estrategias ayudarían a explicar cómo *L. admirabile* muestra un crecimiento reducido tanto en ausencia de sal (0% NaCl) como bajo condiciones de estrés salino extremo (6% NaCl).

Finalmente, en este estudio se ha observado que *L. admirabile* crece mejor cuando la salinidad del sustrato es moderada (1% NaCl), mientras que tanto la ausencia de sal como las concentraciones más altas (2% o superior) reducen el desarrollo de la planta. Estos resultados coinciden con lo descrito en estudios previos sobre la germinación de esta especie, donde se comprobó que la germinación de semillas de *L. admirabile* disminuye notablemente a partir del 2% de salinidad, con tasas muy bajas en 4% de NaCl y nulas en 6% de NaCl (Moreno et al., 2022), lo que indica que la especie necesita un rango salino específico para poder completar su ciclo. Además, cabe destacar que variaciones en la salinidad del suelo condicionan la supervivencia de la especie en el medio natural, lo que refuerza la vulnerabilidad de *L. admirabile* ante alteraciones ambientales que modifiquen la

concentración de sales en su hábitat. Estos resultados resultan clave para poder definir protocolos de conservación *ex situ* puesto que permite recrear en jardines botánicos o viveros unas condiciones de cultivo que favorezcan la germinación y crecimiento de la especie.

5.2. Directrices del Plan de Conservación en colecciones vivas.

Los resultados obtenidos en este estudio, en los que *L. admirabile* muestra un desarrollo óptimo bajo condiciones de salinidad moderada (1% NaCl), ofrecen una base sólida para proponer su conservación mediante colecciones vivas en jardines botánicos. Esta estrategia de conservación *ex situ* es una alternativa complementaria frente a la conservación *in situ*. Pese a que *L. admirabile* habita en una Zona de Especial Conservación (ZEC), carece de planes específicos de recuperación y no figura en catálogos legales de protección autonómica o estatal. Esta situación incrementa su vulnerabilidad ante amenazas, y por ello es prioritario establecer Planes de Conservación *ex situ*. Referente a las colecciones vivas, es imprescindible reproducir en lo posible las condiciones edáficas del hábitat original, manteniendo una salinidad del sustrato similar a la de su entorno natural. Además, la conservación en jardines botánicos permite disponer de ejemplares vivos accesibles para investigación, educación ambiental y futuras reintroducciones si las condiciones ecológicas lo permiten.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta la incorporación complementaria de técnicas de cultivo *in vitro*, que permiten mantener individuos libres de enfermedades bajo condiciones controladas facilitando la propagación vegetativa del material genético (Pierik, 1997). Según González-Orenga et al, (2021), numerosas especies silvestres de *Limonium* pueden ser manipuladas fácilmente *in vitro*, lo que facilita la propagación controlada y la preservación del material genético. Finalmente, teniendo en cuenta la distribución extremadamente de esta especie, su escasa representación genética conocida y su falta de protección legal efectiva, resulta importante impulsar acciones de conservación específicas, y estas no deben incluir únicamente la conservación *ex situ* a través de jardines botánicos, sino también la justificación técnica de su inclusión en catálogos oficiales y el desarrollo de un Plan de Recuperación basado en evidencias tanto ecológicas como experimentales.

6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.

L. admirabile muestra una efectividad en su crecimiento en lo correspondiente al Tratamiento D (1% NaCl) respecto al resto de tratamientos, pudiendo considerarlo como el rango óptimo de salinidad para que complete su desarrollo vegetativo *ex situ*. Pese a la efectividad de este tratamiento, el estrés salino (Tratamiento E) no inhibió completamente

el desarrollo de los individuos, pero si mostró un desarrollo más lento. Además, la ausencia de estructuras reproductivas durante el estudio sugiere que la floración de *L. admirabile* está influenciado por factores ambientales adicionales, sugiriendo la posibilidad de un ciclo bienal. También cabe destacar que el crecimiento de alguno de los rasgos estudiados viene determinado por los tratamientos, como es el caso de la roseta basal y del peciolo de la hoja más larga.

Estos resultados no solo describen con detalle los caracteres fenotípicos bajo condiciones de estrés salino, sino que también aportan una base sólida para futuras investigaciones orientadas a comprender la plasticidad fenotípica y así establecer protocolos de cultivos que faciliten su conservación *ex situ*. Además, se respalda la posibilidad de incluir a *L. admirabile* en colecciones vivas de jardines botánicos como estrategia de conservación *ex situ*, permitiendo además su desarrollo en protocolos específico para su preservación y reintroducción en su medio natural en caso de ser necesario. Por último, considerando la sensibilidad de la especie a factores edáficos y climáticos, así como su restringida distribución en zonas semiáridas con elevada sensibilidad del sureste ibérico, resulta fundamental abordar en futuras investigaciones aspectos reproductivos y fisiológicos y realizar simulaciones en condiciones controladas bajo distintos escenarios de cambio climático con el fin de evaluar su capacidad de adaptación y la probabilidad de supervivencia ante futuros cambios ambientales.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Alonso Vargas, M.A. (2001). *Estudio geobotánico de los saladares del sureste peninsular (Albacete, Alicante, Almería y Murcia)*.

Alonso, M.A. y A. De la Torre (2022). Las comunidades fruticasas de Suaeda Forsskal ex J.F. Gmelin en la Península Ibérica e Islas Baleares. *Lazaroa* 23: 95-105.

Álvarez-Rogel, J. (1997): *Relaciones suelo -planta en saladares del sureste de España*

Álvarez-Rogel, J., Jiménez-Cárceles, F.J., Roca, M.J., y Ortiz, R (2007). Changes in soils and vegetation in a Mediterranean coastal salt marsh impacted by human activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(3-4): 510-526.

Álvarez-Rogel, J., Ariza, F.A., y Silla, R.O. (2000). Soil salinity and moisture gradients and plan zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. *Wetlands*, 20(2): 357-372.

BGCI. (2021). *Conservación integral de especies arbóreas en jardines botánicos: Un manual de referencia*. Botanic Gardens Conservation International.

Bitá-Nicolae, C., y Dhyani, P. (2025). Plant diversity: the key to ecosystem resilience in a changing world. *Frontiers in Plant Science*, 15: 1534119.

Cardinale et al., (2012). Pérdida de biodiversidad y su impacto en la humanidad. *Nature*, 486 (7401): 59-67.

Castilla-La Mancha, G. (s.f.). ZEC Saladares de Cordovilla y Agramón y laguna de Alboraj ES4221011. Gobierno de Castilla-La Mancha.
<https://www.castillalamancha.es/gobierno/agrimedambydesrur/estructura/dgapfyen/rednatura2000/zecES4210011>.

Castroviejo, S., et al., (2005). *Flora ibérica. Vol. 3. Plumbaginaceae (partim) - Capparaceae*. Real Jardín Botánico, CSIC. <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/9896-redirect>.

Chapman, V. J. (1960). Salt marshes and salt deserts of the world. *London and New York*, 213-214.

Colmer, T.D., y Voesenek, L.A. C.J. (2009). Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, 36(8): 665-681.

Crane, P.R., Hopper, S.D., Raven, P.H., y Stevenson, D.W. (2009). Plant science research in botanic gardens. *Trends in plant science*, 14(11): 575-577.

Crespo, M.B., y Lledó, M.D. (1998). *El género Limonium Mill. (Plumbaginaceae) en la Comunidad Valenciana: taxonomía y conservación*. Conselleria de Medio Ambiente (Generalitat Valenciana), Valencia.

Cubero Rivera, R. (Coord.) (2015) *Plan de Gestión de Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj, ES4210011 (Albacete)*. Dirección General de Política Forestal y Espacios Naturales. Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

DeBussche, M., Thompson, J.D., y Debussche, G. (2004). Conservation implications of the present botanical composition in ex situ collections: A case study. *Biodiversity and Conservation*, 13(6): 1231-1246.

De Carvalho, C., Debussche, M., y Thompson, J.D. (2004). Patterns of plant diversity in Mediterranean botanical gardens: Implications for ex situ conservation. *Biological Conservation*, 121(2): 279-291.

Dirzo, R., y Raven, P.H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1): 137-167.

Domínguez Imoberdorff, E. (2024). Evaluación de la tolerancia a la salinidad de *Limonium irtaense* en apoyo a los programas de conservación de esta especie amenazada.

Erben, M. (1993). *Limonium mill.* *Flora ibérica*, 3: 3-143.

Flowers, T.J. y Colmer, T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist* 179, 945-963.

Flowers, T.J., Galal, H.K. y Bromham, L. (2010). Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, 37(7): 604-612.

Flowers, T.J. y Yeo, A.R. (1986). Ion relations of plants under drought and salinity. *Functional Plant Biology*, 13(1): 75-91.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010). *Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO, UK.

González-Alcaraz, M. N., Jiménez-Cárceles, F. J., Álvarez, Y., y Álvarez-Rogel, J. (2014). Gradients of soil salinity and moisture, and plant distribution, in a Mediterranean semiarid saline watershed: A model of soil-plant relationships for contributing to the management. *Catena*, 115: 150-158.

González-Orenga, S., Grigore, M.N., Boscaiu, M. y Vicente, O. (2021). Mecanismos constitutivos e inducidos de tolerancia a la sal y usos potenciales de especies de *Limonium Mill.* *Agronomía*, 11(3): 413.

Greenway, H., y Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1): 149-190.

Heywood V.H., y Dulloo, M.E. (2005). In situ conservation of wild plant species: A critical global review of good practices.

Heywood, V. H. (2009). The role of botanic gardens as resource and introduction centers in the face of global change. *Biodiversity and Conservation*, 18: 2595-2601.

Jardín Botánico de Córdoba. (2005, 6 febrero). Banco de Germoplasma-Jardin Botánico de Córdoba. <https://www.jardinbotanicodecordoba.com/investigacion/banco-de-germoplasma/>.

Lendínez, M.L. (2010). *Estudio fitosociológico y fitocenótico de la vegetación halófila andaluza: Bases para su gestión y conservación* (Doctoral dissertation, Ph. D. tesis. University of Jaén, Spain).

Los bancos de semillas, refugios que salvan especies de la extinción-University of Malaga. (s.f.). <https://www.uma.es/sala-de-prensa/noticias/los-bancos-de-semillas-refugios-que-salvan-especies-de-la-extincion>.

Miller-Rushing, A. J., Primack, R. B., y Bonney, R. (2007). The role of botanical gardens in conservation and public education. *Basic and Applied Ecology*, 8(2): 164-170.

Moreno, J., Terrones Contreras, A., Alonso-Vargas, M. Á., Juan, A., y Crespo, M. B. (2016). *Limonium tobarrense* (Plumbaginaceae), a new species from the southeastern Iberian Peninsula. *Phytotaxa*, 257(1): 61-70.

Moreno, J., Terrones Contreras, A., Alonso-Vargas, M. Á., Juan, A., y Crespo, M. B. (2018). Taxonomic revision of the *Limonium latebracteatum* group (Plumbaginaceae), with the description of a new species. *Phytotaxa*, 333(1): 41-57.

Moreno, J. (2019). Estructura ecológica y funcional de las comunidades vegetales de ambientes salinos mediterráneos.

Moreno, J., Terrones, A. y Juan, A. (2022). Patrones de germinación a lo largo de un gradiente de salinidad de halófitas estrechamente relacionadas en simpatria. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 264: 107690.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., et al. (2022). Vegan: Community Ecology Package (ver.2.6-4) [Paquete de software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>.

Pierik, R.L.M. (1997). *Cultivo in vitro de plantas superiores*. Springer Science & Business Media.

Piirainen, M., y Kadereit, G. (2011). Taxonomic revision of *Halocnemum* and *Arthorocaulon* (Amaranthaceae: Salicornioideae). *Taxon*, 60(1): 51-59.

Pita Villamil, J. M., y Martínez Laborde, J. B. (2001). *Bancos de semillas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Primack, R. B., y Miller-Rushing, A. J. (2009). The role of botanical gardens in climate change research. *New Phytologist*, 182(2): 303-313.

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (ver 4.4.0). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.

Reynolds, L.K., McGlathery, K.J., y Waycott, M. (2012). Genetic diversity enhances restoration success by boosting ecosystem services. *PLoS One*, 7(6): e38397.

Rivas-Martínez, S. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. Memoria del mapa de vegetación potencial de España. Parte I. *Itinera Geobotanica* 17: 5-436.

Roselló, R., Stübing, G., Peris, J.B. y Cirujano, S. (1997). *Limonium cordovillense* & *L. pinillense* (Plumbaginaceae), dos nuevas especies de la flora española. *Anales de Jardín Botánico de Madrid* 55(2): 471-475.

Smith, P., y Pence, V. (2017). The role of *ex situ* seed conservation in the preservation of plant diversity. *Plant Diversity*, 39(6): 373-377.

Sociedad Española de Cultivo in Vitro de Tejidos Vegetales. (s.f.). *Conservación*. <https://secivtv.org/project-category/tecnicas-utilizadas/conservacion/>.

Strogonov, B.P. (1965). Physiological basis of salt tolerance of plants. *Soil Science*, 99 (5):356.

Terrones, A., & Moreno, J. (2018). El género *Limonium* en el LIC “Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj”. In *Actas de las III Jornadas sobre el Medio Natural Albacetense* (pp. 87-90).

UICN. (2012). *Lista Roja de especies amenazadas: Versión 2012.1*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

-ANEXOS-



Anexo I. Evolución por Tratamientos de *L. admirabile*

Figura 1. Crecimiento de la roseta longitudinal para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

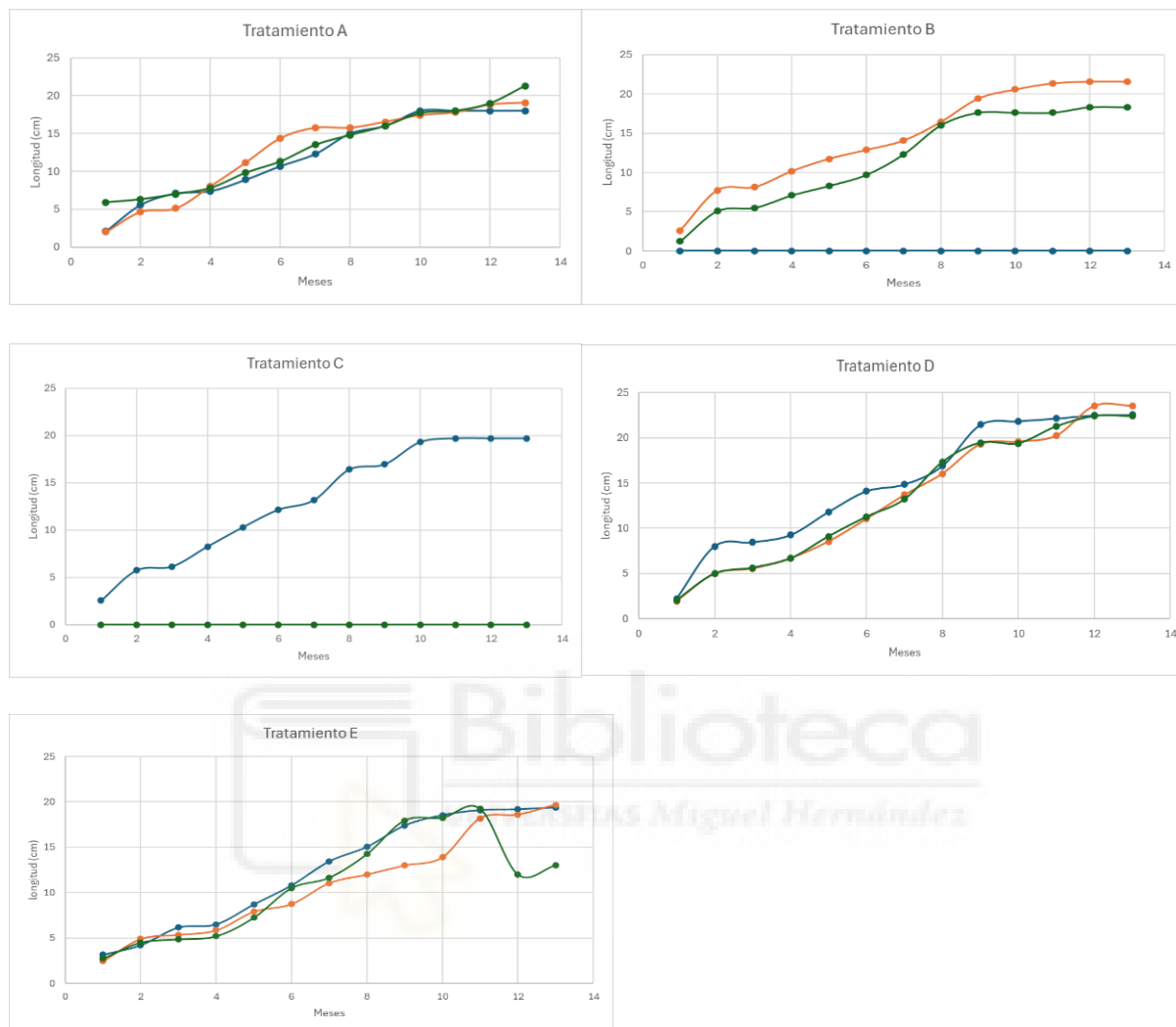


Figura 2. Crecimiento de la roseta transversal para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

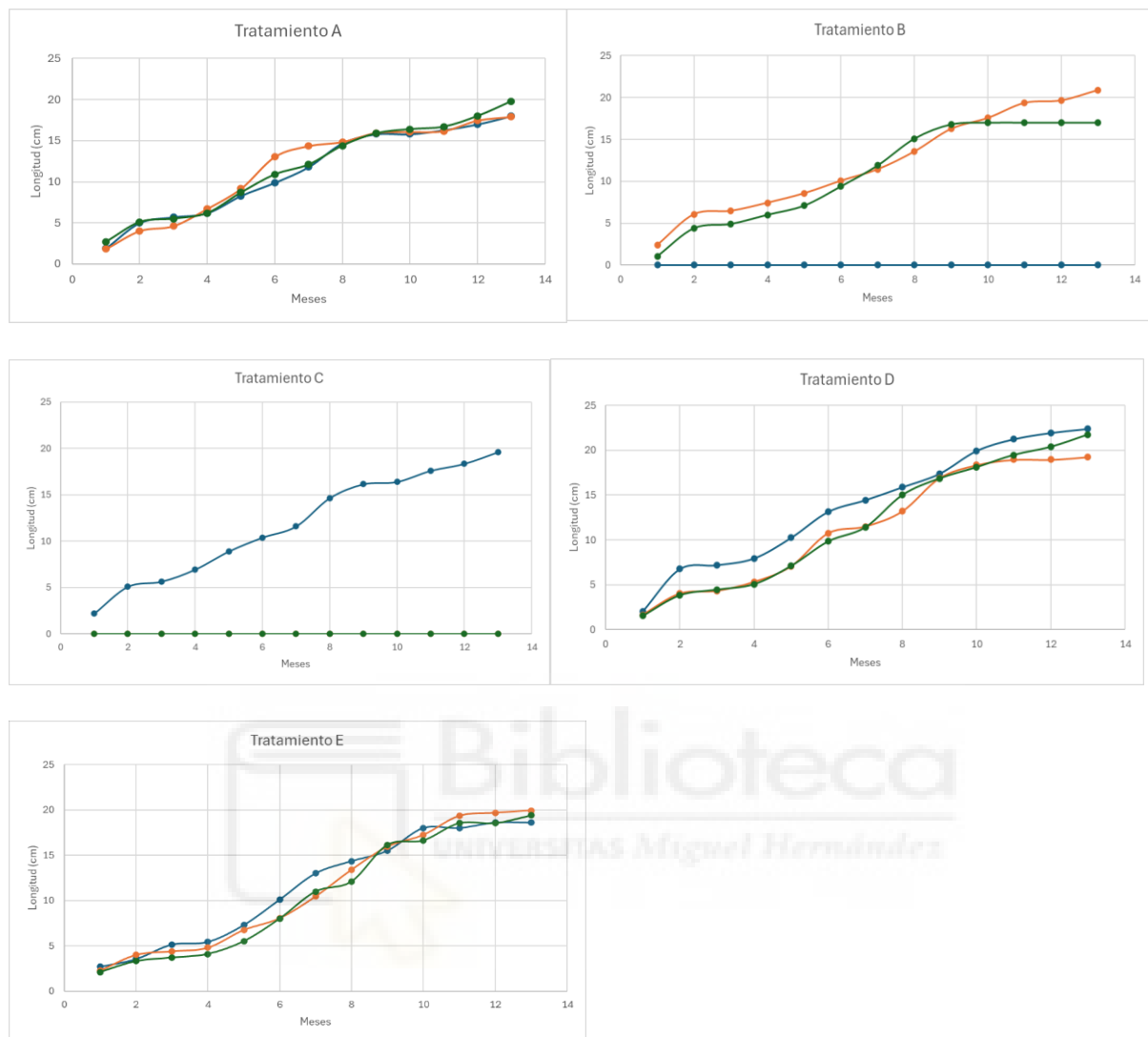


Figura 3. Longitud del limbo de la hoja más larga para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.



Figura 4. Ancho del limbo de la hoja más larga para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

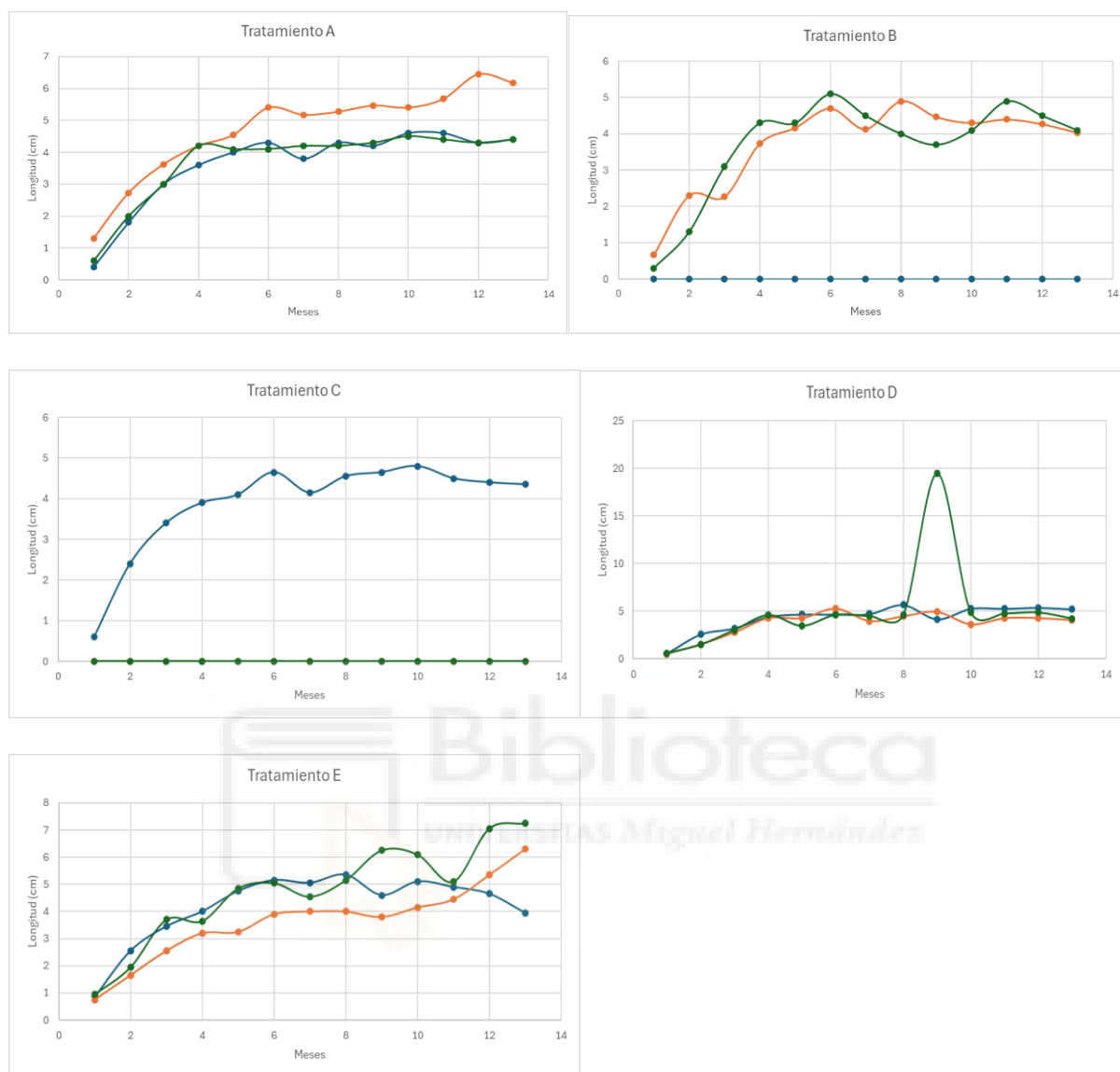


Figura 5. Longitud del peciolo de la hoja más larga para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

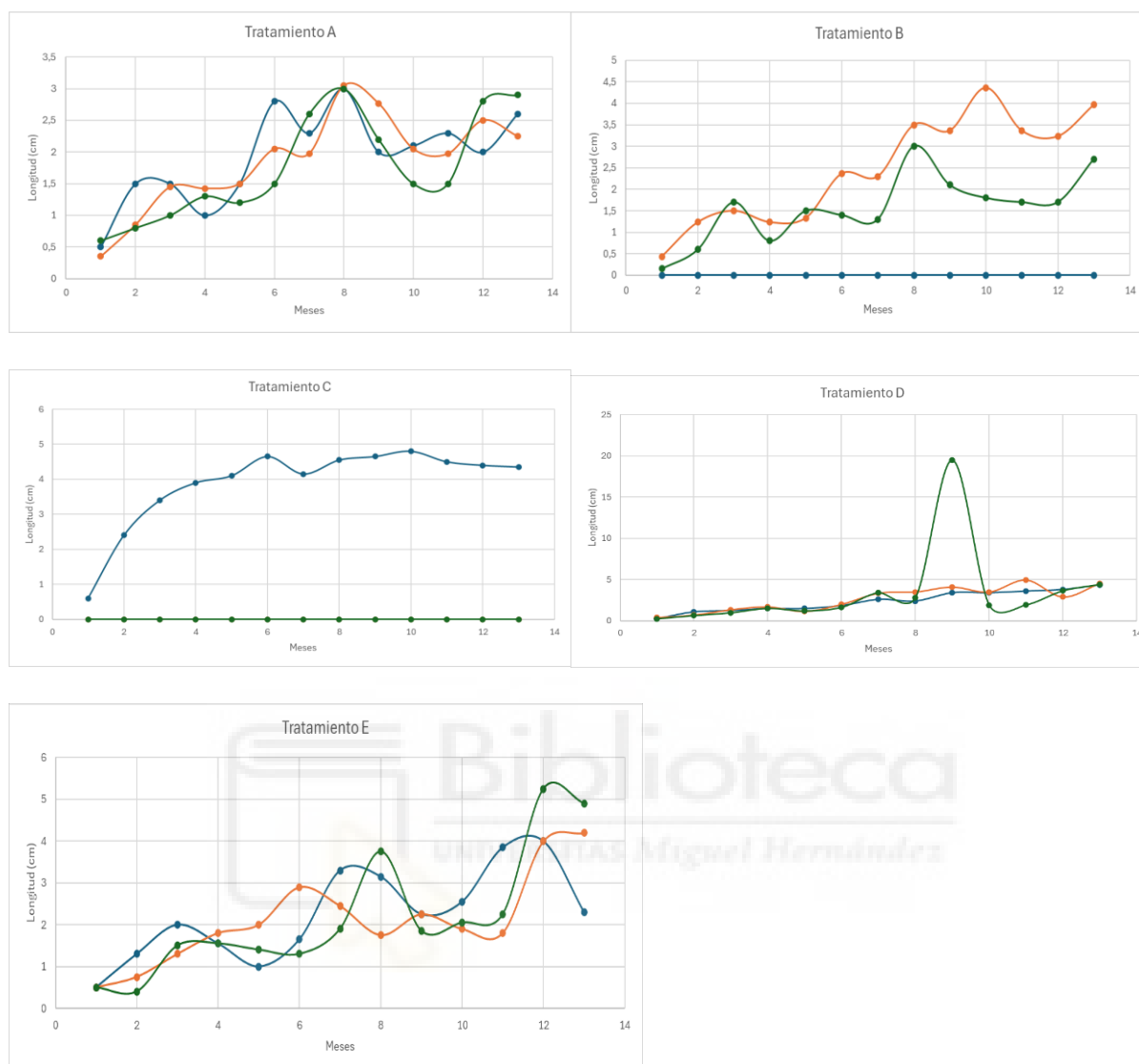


Figura 6. Anchura del peciolo de la hoja más larga para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

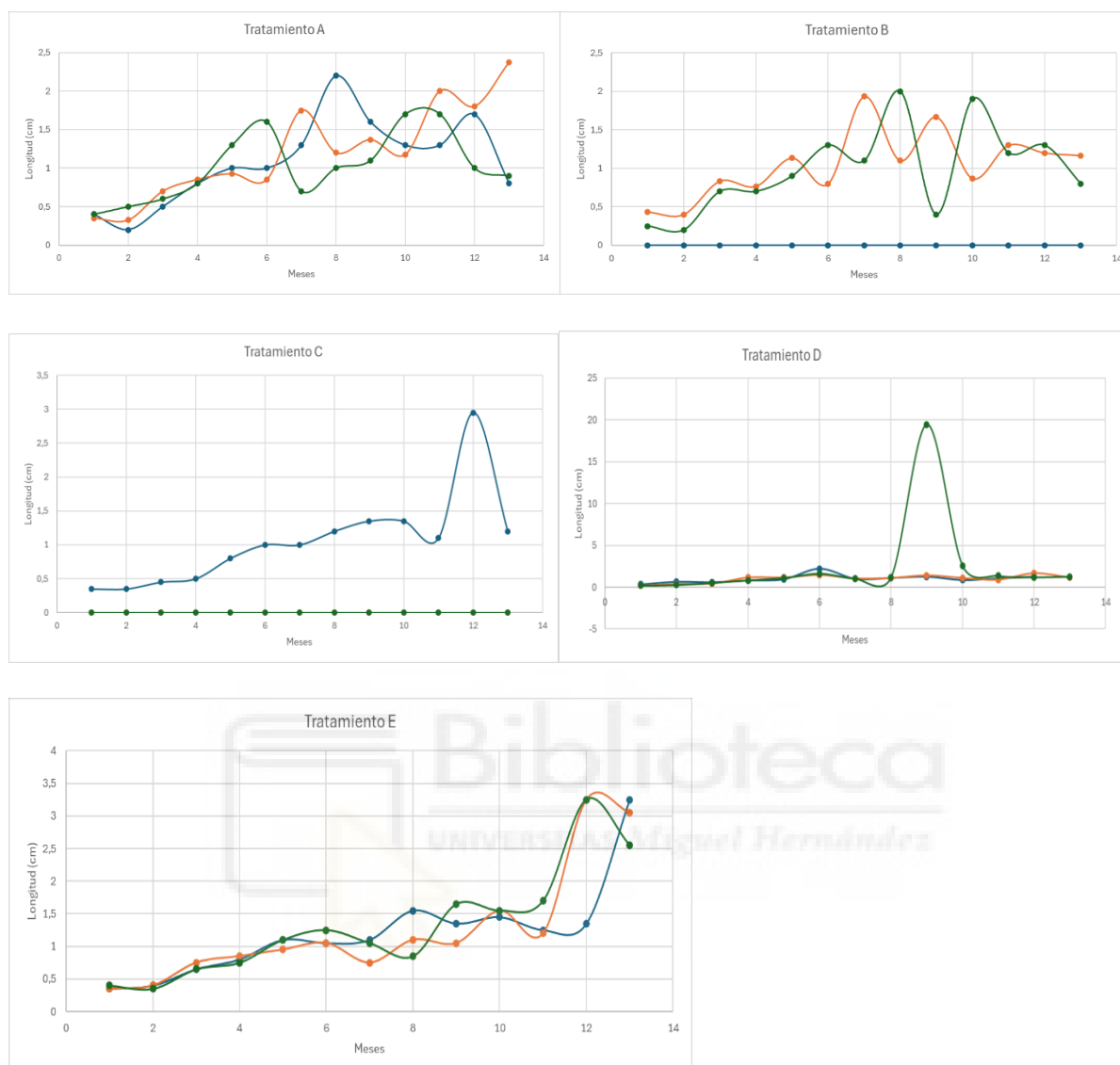


Figura 7. Longitud del limbo de la hoja más corta para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

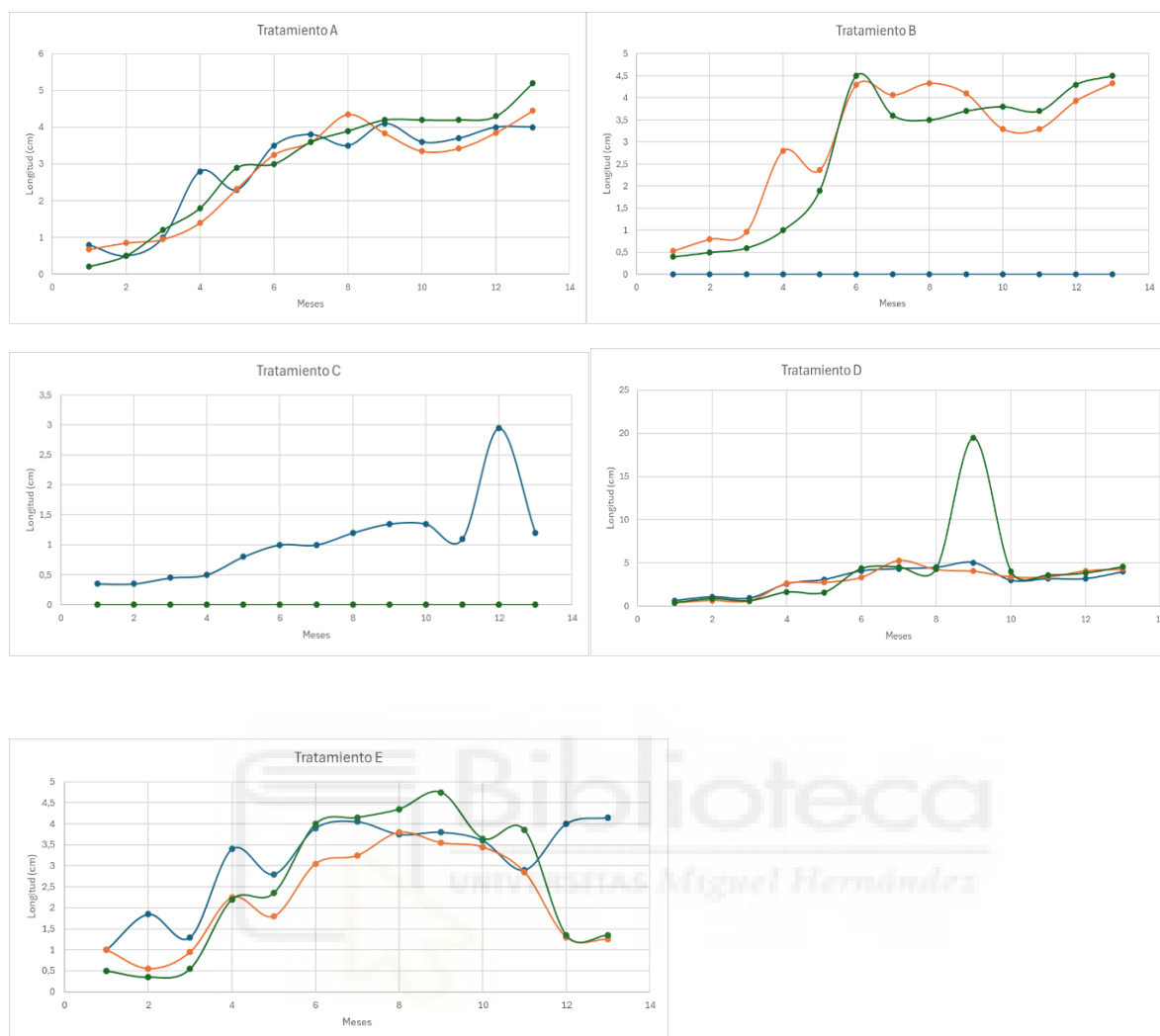


Figura 8. Anchura del limbo de la hoja más corta para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

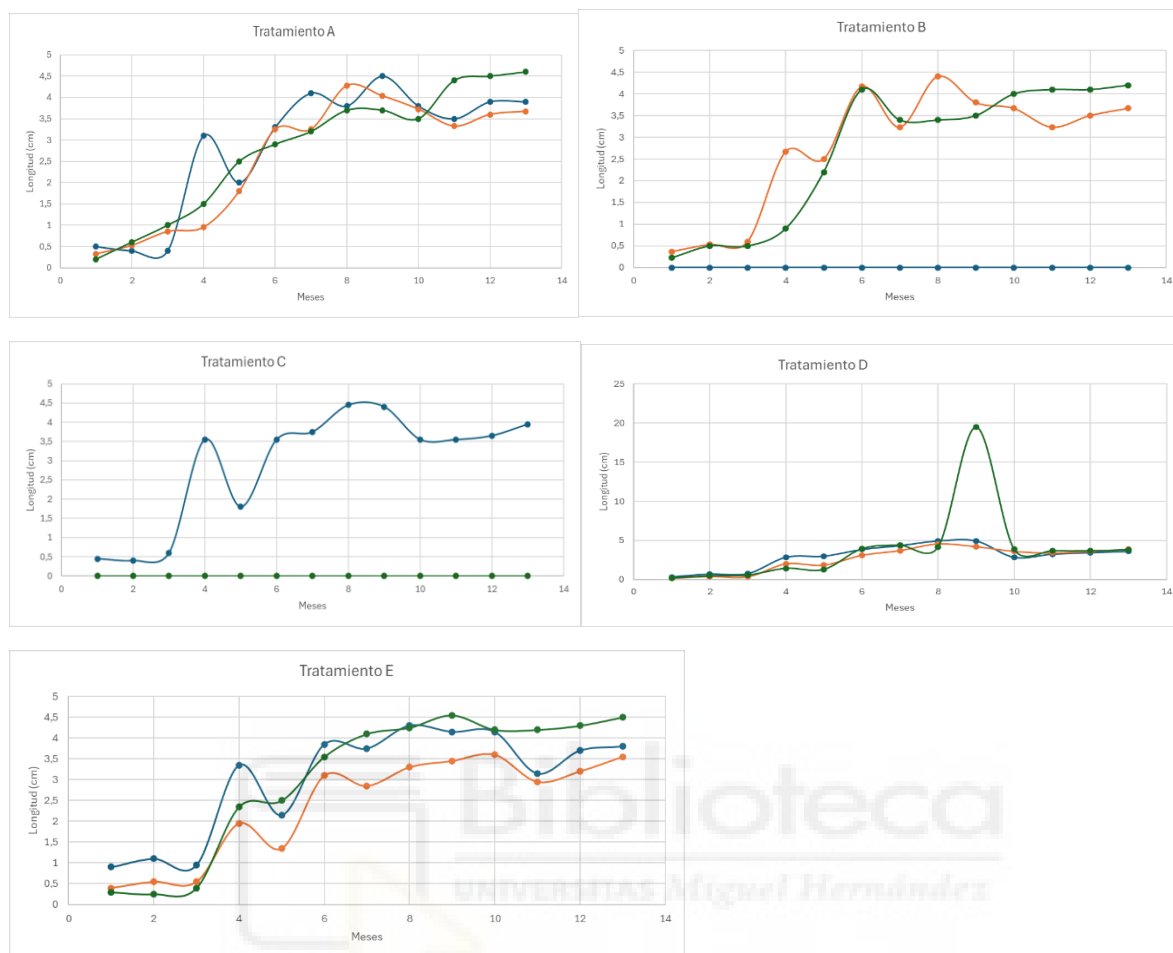


Figura 9. Longitud del peciolo de la hoja más corta para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.

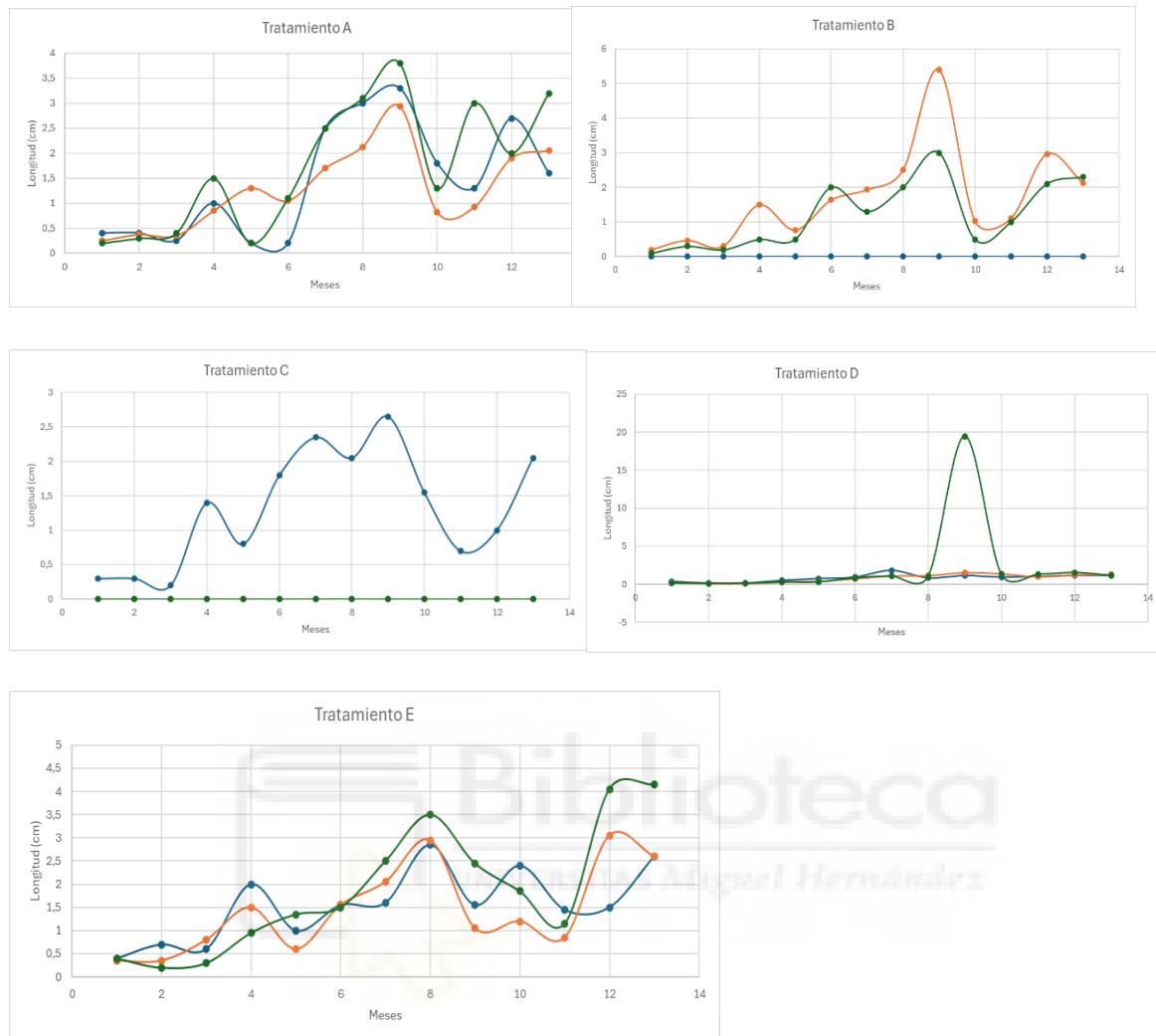
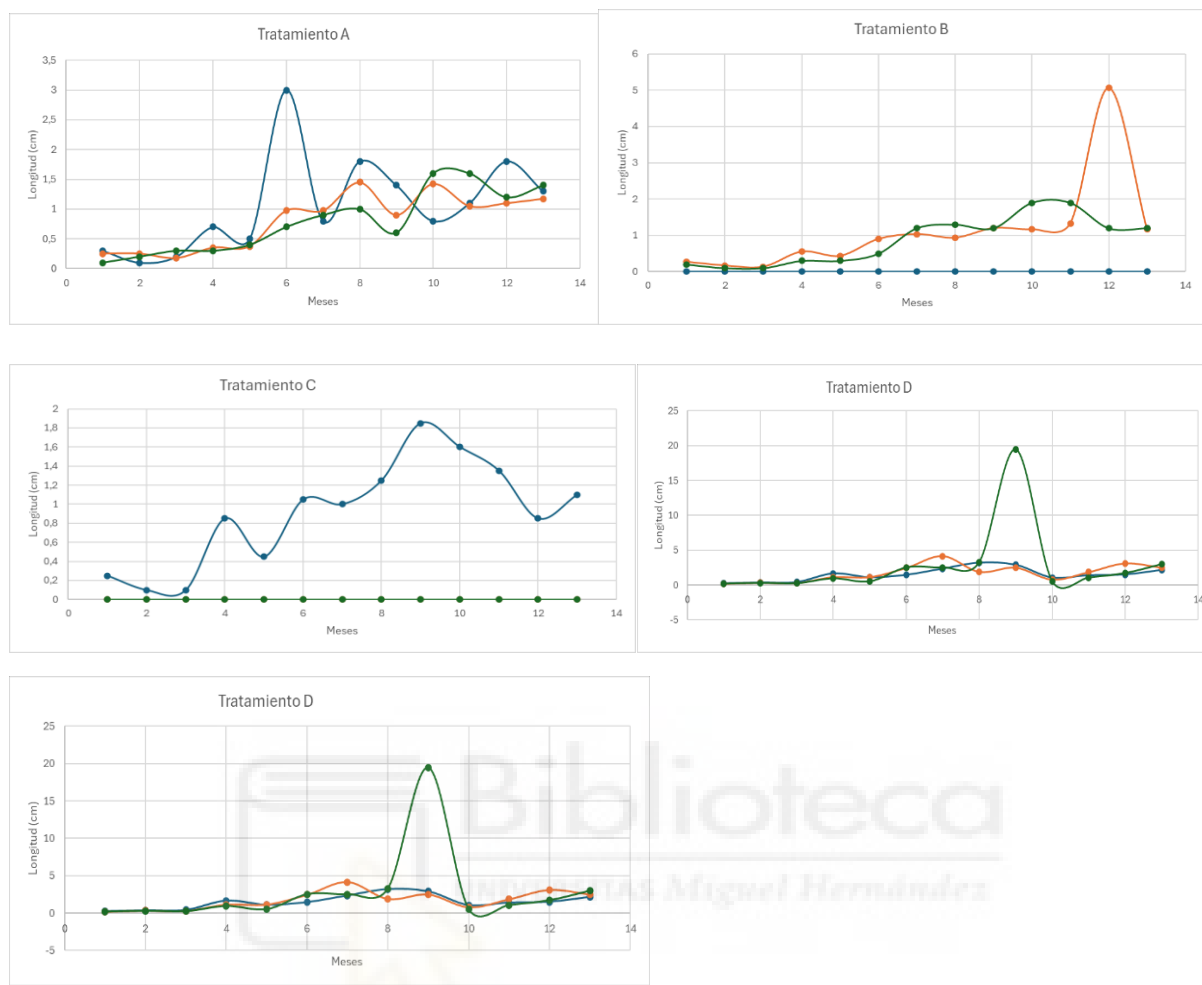


Figura 10. Ancho del peciolo de la hoja más corta para los tratamientos A, B, C, D y E a lo largo de trece meses. Los individuos están representados por colores: Individuo 3, azul; Individuo 4, naranja; Individuo 5, verde.



Anexo II. Evolución por Individuos de *L. admirable*

Figura 1. Longitud de la roseta longitudinal para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

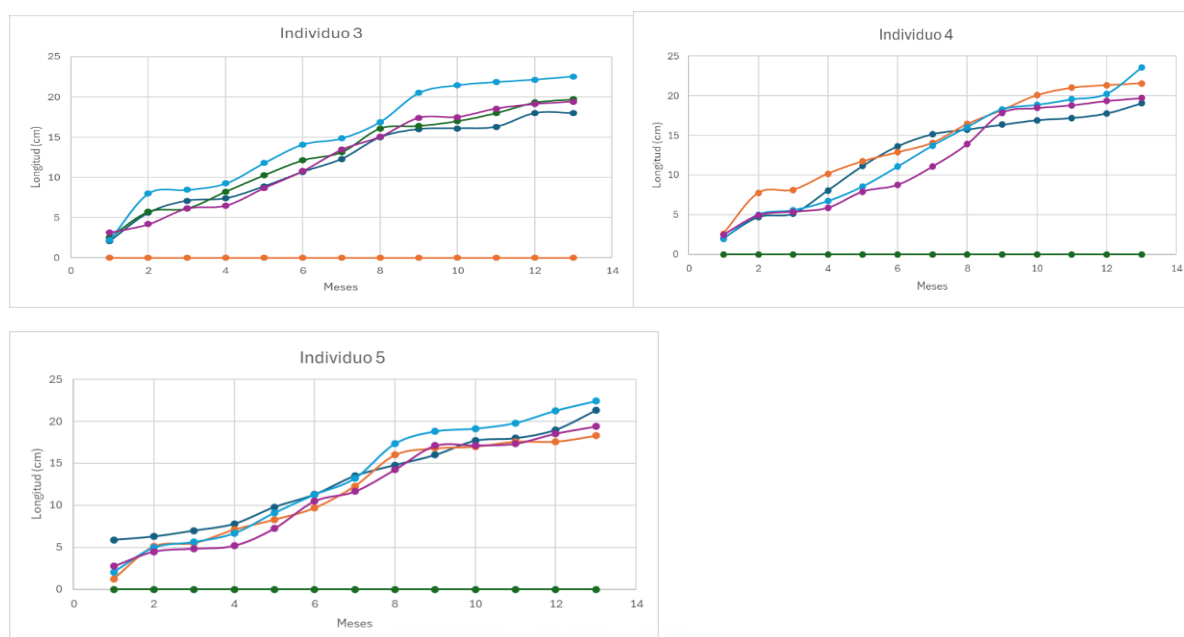


Figura 2. Longitud de la roseta transversal para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

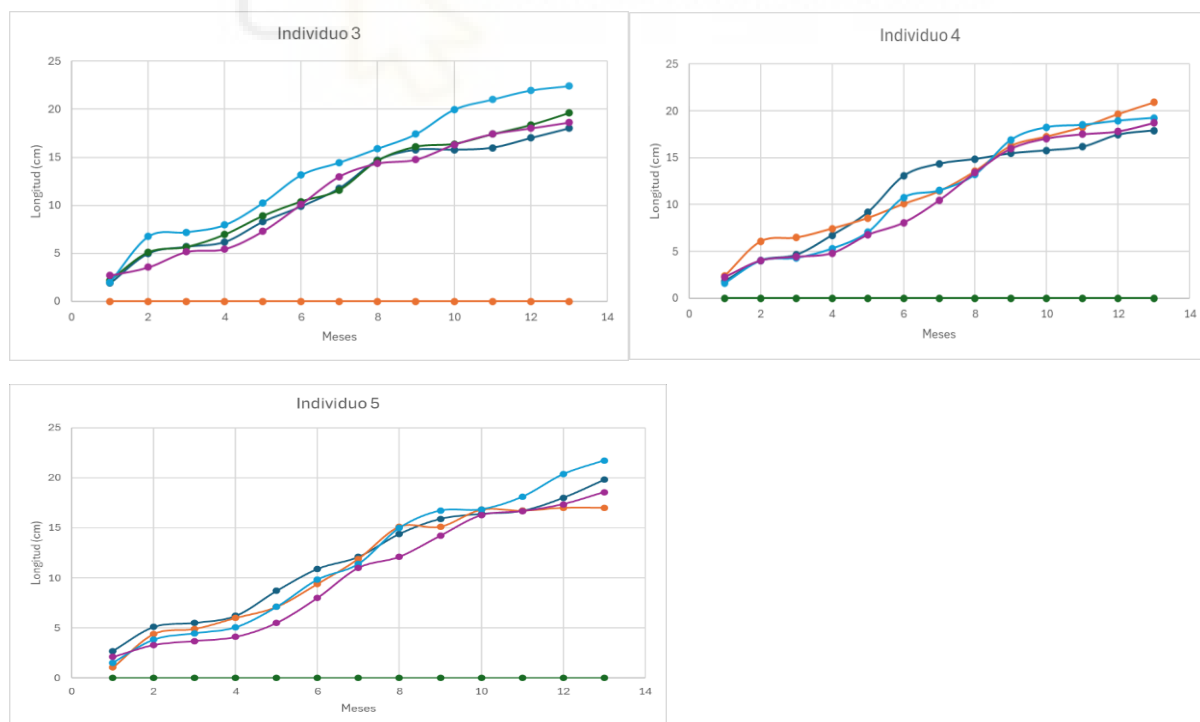


Figura 3. Longitud del limbo de la hoja más larga para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

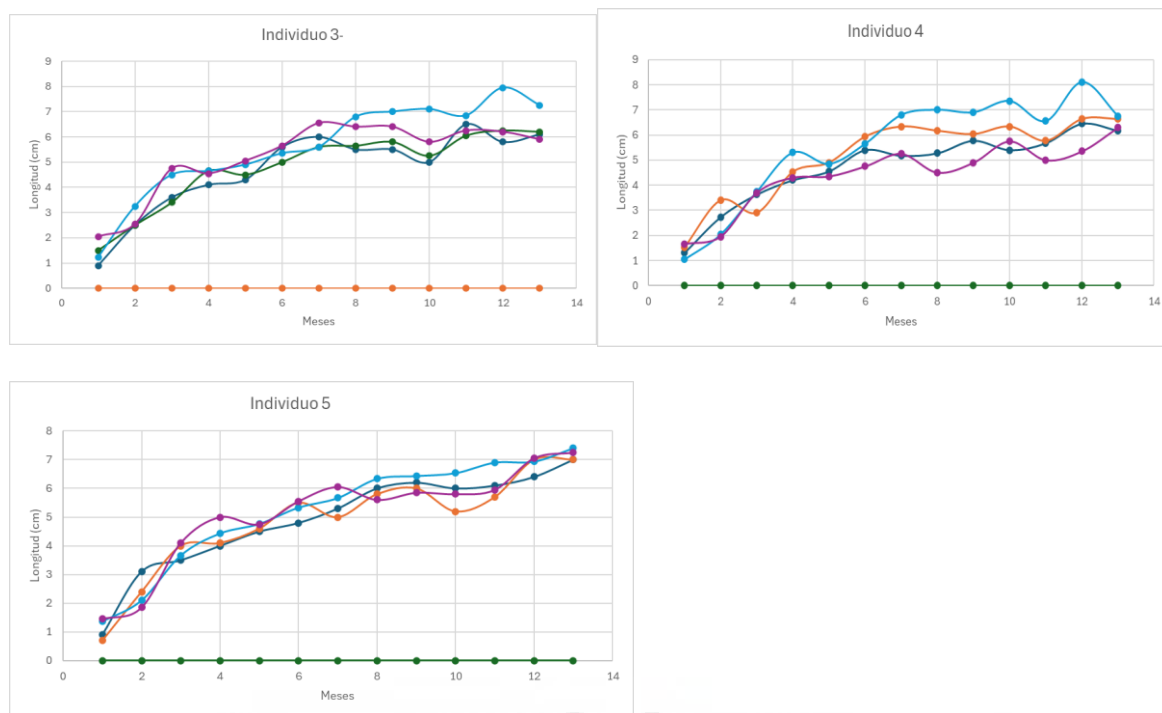


Figura 4. Ancho del limbo de la hoja más larga para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

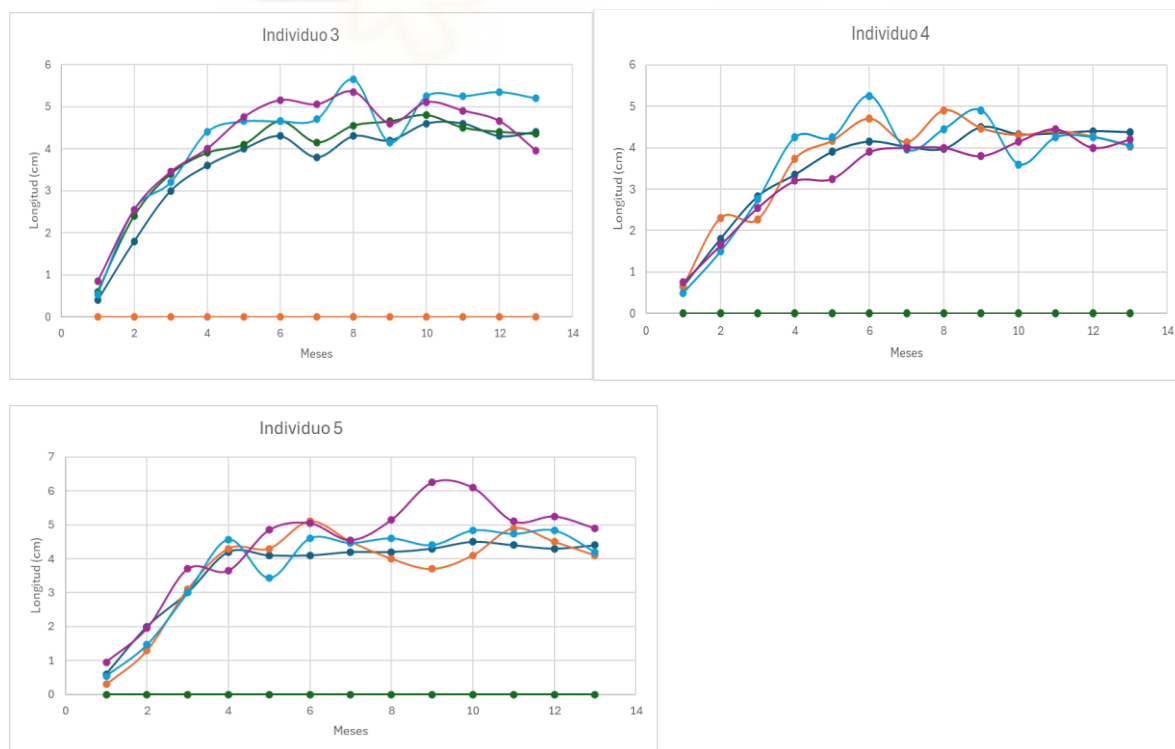


Figura 5. Longitud del peciolo de la hoja más larga para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

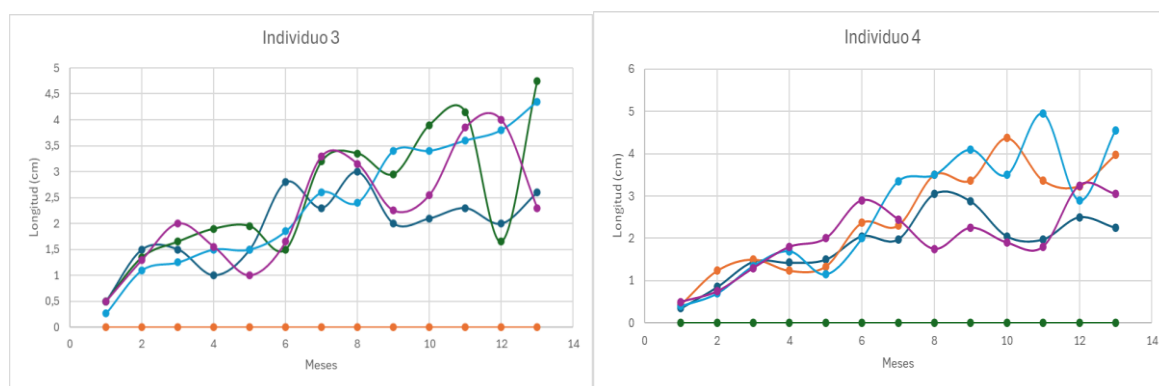


Figura 6. Ancho del peciolo de la hoja más larga para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

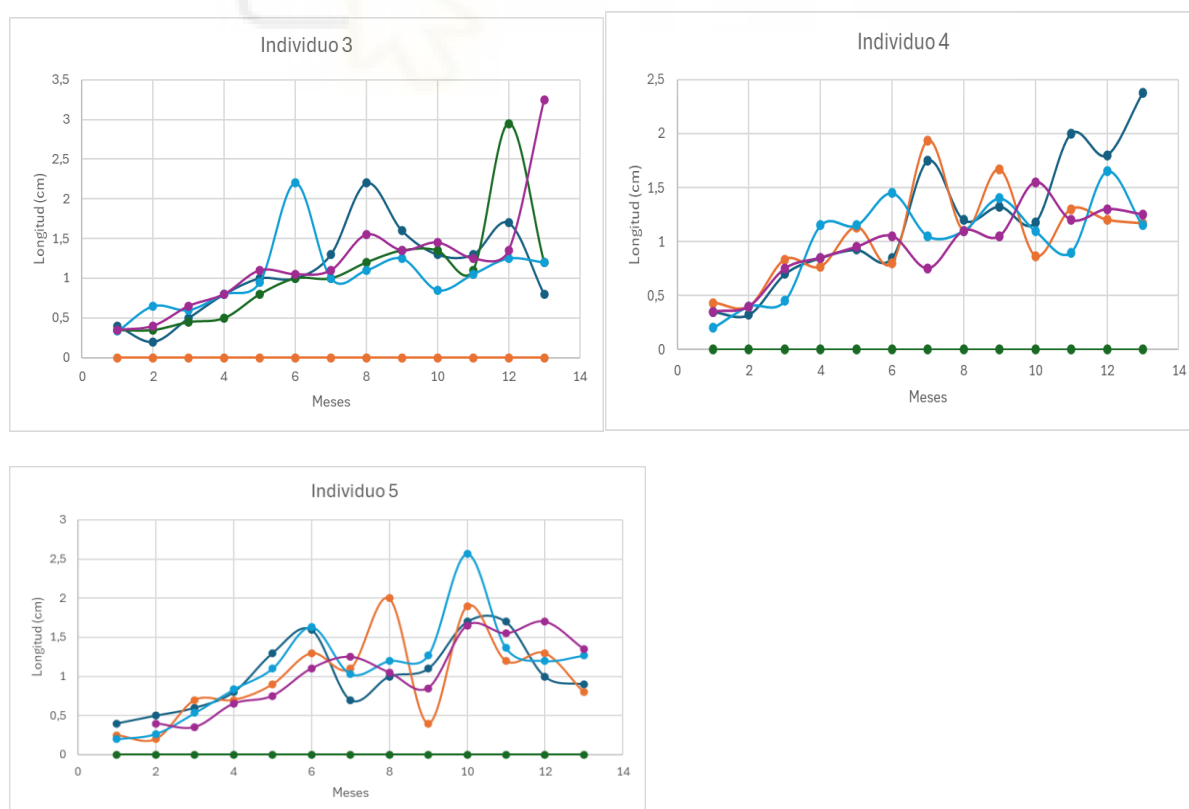


Figura 7. Longitud del limbo de la hoja más corta para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

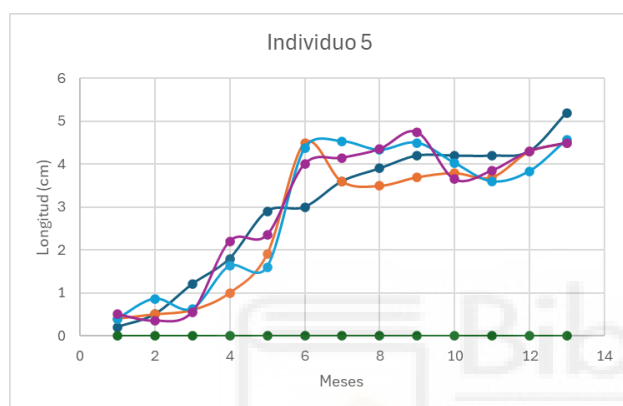
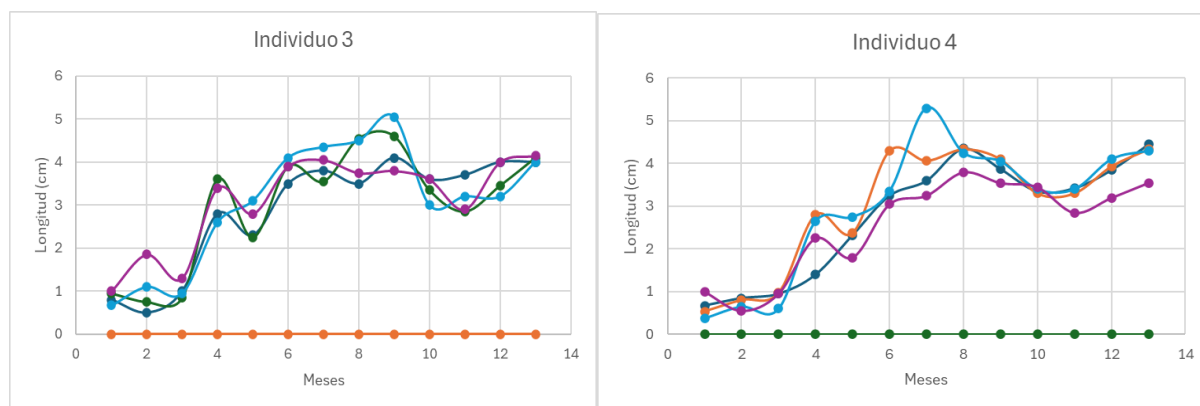
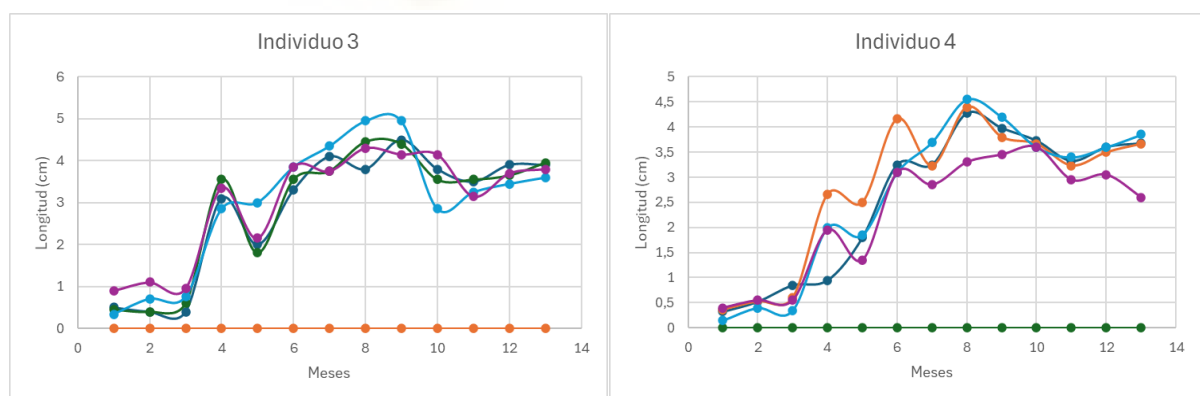


Figura 8. Ancho del limbo de la hoja más corta para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.



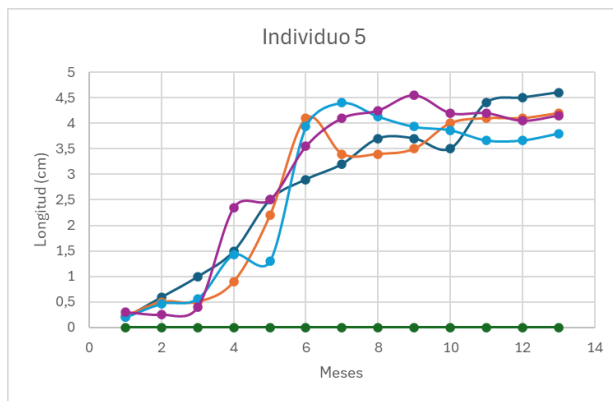


Figura 9. Longitud del peciolo de la hoja más corta para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

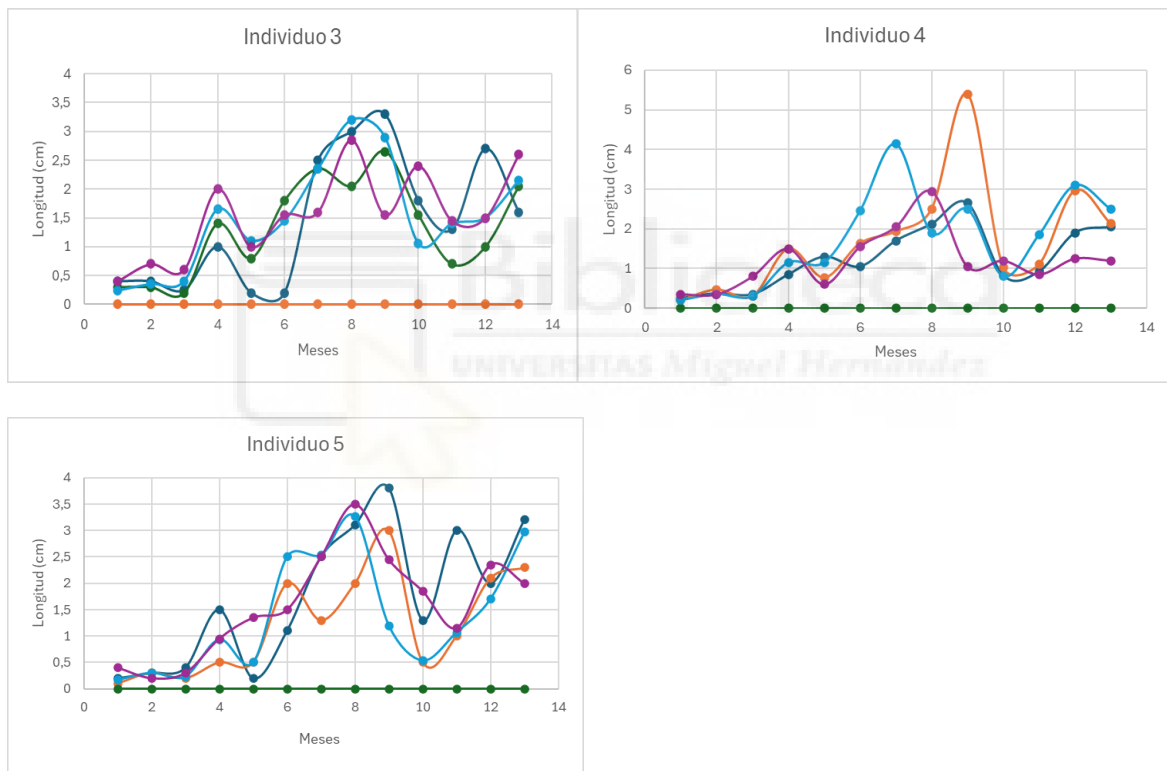
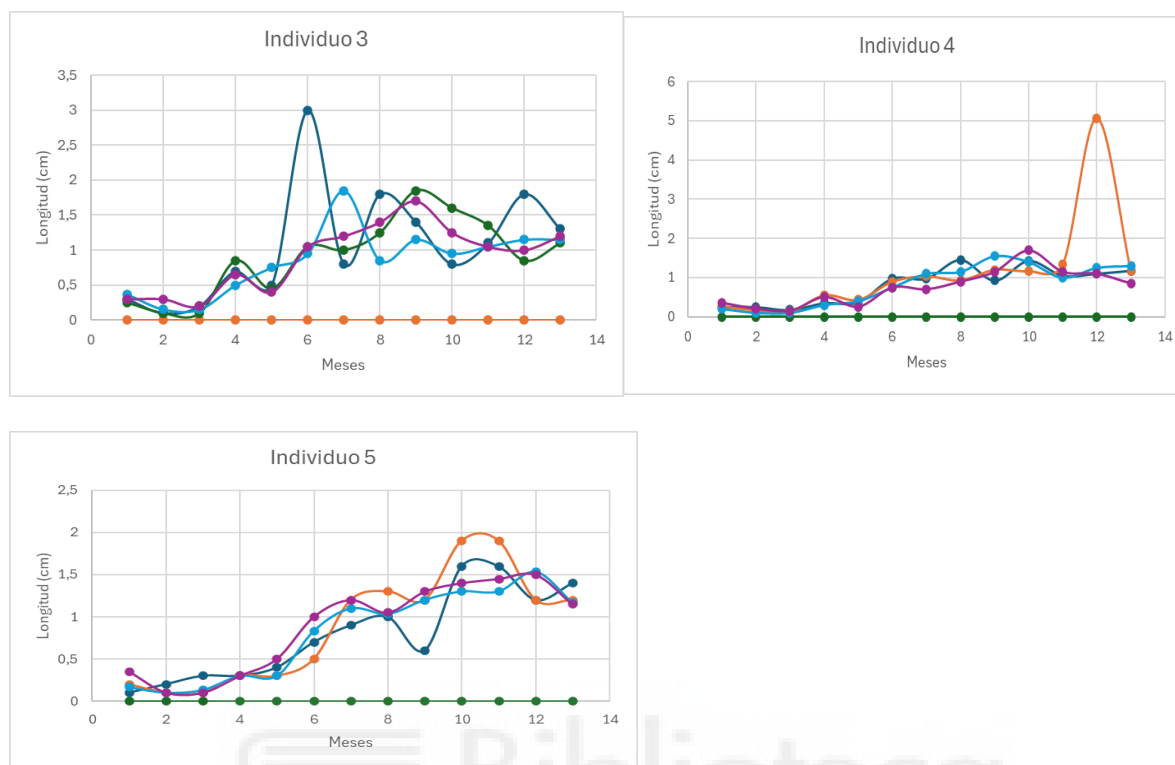


Figura 10. Longitud del peciolo de la hoja más corta para los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.



Anexo III. Promedios de rasgos morfológicos de *L. admirabile*.

Figura 1. Promedio de la longitud de los rasgos (la roseta longitudinal, la basal, ancho y largo del limbo y peciolo de la hoja más larga y más corta) de los individuos 3, 4 y 5 a lo largo de trece meses. Los tratamientos están representados por colores: Tratamiento A, azul oscuro; Tratamiento B, naranja; Tratamiento C, verde; Tratamiento D, azul claro; Tratamiento E, violeta.

