Elaboración y desarrollo del Plan de Recuperación de los endemismos albacetenses *Limonium tobarrense* y *L. admirabile* en la Reserva Natural "Saladar de Cordovilla"

Facultad de Ciencias Experimentales

Grado en Ciencias Ambientales

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CURSO 2024/2025

Autor:

Raúl Rosique Venteo

Tutor:

Joaquín Moreno Compañ

Cotutora:

Ana Juan Gallardo

Departamento de Biología Aplicada

Área de Botánica

Código COIR: TFG.GCA.JMC.RRV.250127

CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

UNIVERSITAS Miguel Hernández

RESUMEN

El género *Limonium* en la provincia de Albacete se encuentra protegido en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha. Sin embargo, *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*, dos endemismos albacetenses localizados en la Reserva Natural "Saladar de Cordovilla" y en la ZEC "Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj" (ES4210011), no son reconocidos en dicho catálogo, ni presentan figuras de protección. Ambas especies presentan niveles de amenaza elevados (i.e., *En Peligro Crítico* CR B1ab(iii)+2ab(iii) y *En Peligro* EN B1ab(iii)+2ab(iii), respectivamente), enfrentándose a diversos factores de amenaza como la agricultura intensiva y de regadío, la introducción de especies cinegéticas y el sobrepastoreo. Así pues, se hace necesaria la elaboración de un Plan de Recuperación centrado en (1) actualizar el área de distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*, (2) determinar las amenazas actuales que afectan a ambos endemismos, (3) evaluar la evolución de las poblaciones de ambos endemismos a partir de modelos predictivos, (4) estudiar la viabilidad del banco de semillas de ambas especies a lo largo del tiempo, y (5) establecer directrices de conservación y manejo para *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*. Para ello, se ha censado a los endemismos en 2024 y 2025, y se han empleado datos de censos anteriores (2016, 2018 y 2021). Además, se han evaluado las amenazas actuales, estudiado la viabilidad de su banco de semillas, y se han utilizado los programas estadísticos MaxEnt y R para realizar modelos de distribución potencial y futura de la especie. Según los resultados obtenidos, la distribución actual de ambos endemismos sigue una línea descendente, pero también con bancos de semillas con una alta viabilidad en el tiempo. Finalmente, se ha confeccionado una propuesta de Plan de Recuperación, incluyendo nueve directrices relevantes para mejorar el estado de conservación de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*.

Palabras clave: *Limonium tobarrense, Limonium admirabile*, conservación, amenazas, saladar, modelización.

ABSTRACT

The *Limonium* genus at the province of Albacete is currently under protection in the Regional Catalogue of Threatened Species of Castilla-La Mancha. However, *Limonium tobarrense* and *L. admirabile*, two endemic species located in the Natural Reserve "Saltmarsh of Cordovilla" and in the SAC "Saltmarshes of Cordovilla and Agramón and Alboraj Lagoon" (ES4210011), are neither recognized in this catalogue nor afforded any protective status. Both species show high threats levels catalogued (i.e. *Critically Endangered* (CR) B1ab(iii)+2ab(iii) and *Endangered* (EN) B1ab(iii)+2ab(iii), respectively), facing various threatening factors such as irrigation and intensive agriculture, introduction of hunting species and overgrazing. Therefore, the development of a Recovery Plan is necessary, focusing on: (1) updating the distribution area of *L. tobarrense* y *L. admirabile*. (2), determining the current threats affecting both endemics, (3) evaluating the population evolution of both endemics using predictive models, (4) studying the long-term viability of the seed bank of both species, and (5) establishing conservation and management guidelines for *L. tobarrense* and *L. admirabile*. For this purpose, the endemics have been surveyed in 2024 and 2025, and data from previous surveys (2016, 2018, and 2021) have been used. Additionally, current threats have been assessed, the viability of their seed banks studied, and statistical programs such as MaxEnt and R have been used to create potential and future species distribution models. According to the results obtained, the current distribution of both endemics is on a downward trend, but their seed banks show high long-term viability. Finally, a proposed Recovery Plan has been drafted, including nine relevant guidelines to improve the conservation status of *L. tobarrense* y *L. admirabile*.

Keywords: *Limonium tobarrense, Limonium admirabile*, recovery, conservation, threats, saltmarsh, modelisation.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. El género *Limonium* 1
1.2. Descripción de las especies 2
1.3. Hábitat y distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile* 3
1.4. Principales amenazas 3
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS 4
2.1. Legislación actual y conservación 4
2.2. Situación actual 5
2.3. Justificación 6
2.4. Objetivos 7
3. MATERIALES Y MÉTODOS 8
3.1. Zona de estudio 8
3.2. Censos, proyección en mapa y muestreo en campo 9
3.3. Análisis estadísticos 10
3.4. Análisis de los requerimientos ecológicos 12
3.5. Viabilidad del banco de semillas 13
4. RESULTADOS 13
4.1. Actualización del área de distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*. 13
4.2. Amenazas actuales de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile* 14
4.3. Modelos predictivos de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile* 15
4.4. Caracterización edáfica 16
4.5. Viabilidad del banco de semillas a lo largo del tiempo. 17
5. DISCUSIÓN 18
5.1. Evaluación del área de distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*. ... 18
5.2. Evaluación de las amenazas de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*. 19
5.3. Modelos predictivos. 20
5.4. Caracterización de los sustratos de *L. tobarrense* y *L. admirabile*. 22
5.5. Evaluación de la viabilidad de los bancos de semillas a lo largo del tiempo..... 22
5.6. Nuevas directrices de conservación. 24
6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA. 26
7. BIBLIOGRAFÍA 28
-ANEXOS- 33
Anexo I. 34
Anexo II. 44

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El género *Limonium*

El género *Limonium* Mill. forma parte de la familia Plumbaginaceae, contando con aproximadamente 400 especies y representando uno de los géneros más numerosos dentro de esta familia (Erben, 1993). La mayor parte de estas especies se caracterizan por presentar una roseta de hojas basales que desarrollan un escapo floral estacional. La mayoría de las especies de este género son perennes, aunque también cuenta con especies anuales (e.g., *Limonium echioides* (L.) Mill.) (Erben, 1993; Crespo & Lledó, 1998). En general, las especies del género *Limonium* se encuentran adaptadas a ambientes áridos y semiáridos, apareciendo sobre sustratos salinos o yesosos (i.e., marjales, yeseras, lagunas interiores, costas rocosas y saladares) (Erben, 1993) y ocupando pequeños parches de vegetación aislados (Erben, 1993). Los suelos que ocupan estas especies son bastante restrictivos, debido al alto contenido en sales. Sin embargo, las especies de este género presentan adaptaciones a la salinidad, lo que les permite poder formar poblaciones más o menos densas en estos enclaves (Álvarez-Rogel *et al.*, 2000). Además, la presión antrópica es uno de sus principales factores de amenaza, ocasionando severos riesgos (i.e., sobreexplotación, agricultura intensiva, sobrepastoreo, fragmentación, entre otras) que ponen en peligro a estas poblaciones (Álvarez-Rogel *et al.*, 2007). En consecuencia, un gran número de especies de este género en la Península Ibérica se encuentran recogidas en algunos de los listados de especies amenazadas, contando con alguna figura de protección (i.e., incluida en el Atlas y Libro Rojo de Flora Vascular Amenazada de España) (Moreno, 2008; Real Decreto 139/2011). De este modo, es extremadamente urgente invertir esfuerzos en elaborar medidas de gestión y conservación, tanto para los hábitats como para las especies de *Limonium*, para frenar las amenazas anteriormente expuestas.

Por otra parte, la identificación de las especies de este género suele presentar cierta dificultad, debido a su elevada variabilidad intraespecífica vinculada a sus características reproductivas. En este sentido, la apomixis (i.e., reproducción asexual mediante semillas) juega un papel relevante en el género *Limonium* (apomixis), derivando en que únicamente un número reducido de individuos sea capaz de formar poblaciones estables a corto plazo; pese a que esta tendencia reproductiva de lugar a individuos con una elevada homogeneidad genética (i.e., clones). Este hecho ha favorecido la especiación del género, dando lugar a la aparición de numerosos taxones en enclaves geográficamente próximos entre sí (i.e., endemismos locales), como por ejemplo *Limonium tobarrense* J. Moreno, Terrones, M. A. Alonso, Ana Juan & M. B. Crespo y *Limonium admirabile* Terrones, J. Moreno, M. A. Alonso, Ana Juan & M. B. Crespo (Moreno *et al.*, 2016; 2018). Igualmente, la hibridación es otro aspecto que produce complejidad dentro del género, encontrando una amplia variación

entre especies cercanas. No obstante, existen otros rasgos (e.g., medidas de piezas florales, indumento, ramas estériles) que facilitan la detección de híbridos (Crespo & Lledó, 1998).

1.2. Descripción de las especies

Limonium tobarrense es una especie perenne y de pequeño porte. Presenta hojas pequeñas y estrechas (c. 8 cm de longitud) con 1–3 nervios, verdes durante la floración. Además, tiene un indumento de pelos cortos, siendo más o menos denso, especialmente en la parte inferior del tallo. La inflorescencia puede presentar algunas ramas estériles o ausencia de estas, con espigas densas en los extremos (4-9 espiguillas/cm) con unas dos flores violáceas por espiguilla. En cuanto a las brácteas, la bráctea externa es triangular-ovada con el ápice variando de subobtuso a romo, con un margen hialino ampliamente membranáceo; mientras que la bráctea interna es oblongo-obovada con el margen hialino membranáceo. El cáliz, por otra parte, está conformado por costillas que sobrepasan más de la mitad de la base de los dientes del cáliz (Moreno *et al.*, 2016) (*Figura 1A*).

Figura 1. Imágenes de *Limonium tobarrense* (A) y *Limonium admirabile* (B).

Por otro lado, *Limonium admirabile* es una especie perenne, multicaule y glabra de escapo es erecto. Presenta una cepa de entre 10–24 cm, con hojas dispuestas en roseta basal y que tienen generalmente un tamaño inferior marcado en el centro de la roseta. Las hojas son elíptico-espatuladas con el ápice obtuso y mucronado, con 1–5 nervios laterales, de color glauco verdoso, que en ocasiones pueden adquirir tonalidades amarillento-verdosas, verdes en la antesis. Presenta una inflorescencia tipo C (i.e., de forma lanceolada) con ninguna rama estéril o algunas solitarias. Tiene espigas terminales densas en el ápice de las ramas o dispuestas en glomérulos, siendo las espigas laterales más cortas que las terminales (3,6–9,2 mm). Las espiguillas son densas (7–13 espiguillas/cm), en disposición bilateral y con 2–9 flores blancas o de color violeta pálido. La bráctea externa es triangular con el ápice obtuso y el margen hialino ampliamente membranoso, ligeramente carnosa en la mitad, estrechamente oblonga y que no alcanza el margen; mientras que la bráctea interna es

generalmente obovada con un margen hialino ampliamente membranoso, siendo más larga que ancha o con una longitud similar a la anchura. Además, la bráctea interna es verde glauca y con marcados nervios blancos, presenta puntos verde-pardos y su ápice no alcanza el margen. El cáliz tiene una longitud de 3,0–3,5 mm, sobrepasando a la bráctea interna c. 0,6–1,0 mm y presentando pelos largos únicamente en un lado del tubo, acabando las costillas del tubo cerca de la base de los dientes del cáliz (Moreno *et al.*, 2018) (*Figura 1B*).

1.3. Hábitat y distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*

Ambas especies son endemismos que se localizan en la Reserva Natural del Saladar de Cordovilla, dentro de la Zona Especial de Conservación (ZEC) "Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj" (ES4210011). Este es un espacio natural protegido de gran diversidad ambiental, con valor botánico y ecológico, y que cuenta con las figuras de protección de Reserva Natural (i.e., en el Saladar de Cordovilla) y Microrreservas de Flora (i.e., en el Saladar de Agramón y la Laguna de Alboraj) (Cubero, 2015; Sagredo *et al.*, 2019).

En cuanto a la distribución de ambos endemismos dentro de la ZEC, *L. tobarrense* cuenta con una única población conocida con c. 300–400 individuos en un área de ocupación de c. 150 m^2 en el Saladar de Cordovilla; mientras que *L. admirabile* presentan diversos parches poblacionales en la ZEC con c. 400-600 individuos, incluyendo el Saladar de Cordovilla y la Laguna de Alboraj. Sin embargo, los ambientes incluidos en la ZEC hacen frente a diferentes tipos de amenaza cuya actividad reside en varias acciones antrópicas. Entre estas amenazas, destacan principalmente la actividad extractiva y obras hidráulicas, la actividad agrícola, el sobrepastoreo y la actividad cinegética, que ocasionan la degradación de este enclave y ponen en riesgo a la biodiversidad y dificultan las labores de gestión y conservación.

1.4. Principales amenazas

En los últimos años, el Saladar de Cordovilla ha sufrido procesos de degradación por acción antrópica que han afectado a una amplia extensión de su superficie (Ferrandis *et al.*, 2010). La existencia del municipio de Cordovilla como núcleo urbano en el interior del saladar, además de las diversas actividades humanas asociadas descritas a continuación, representan una gran amenaza para la conservación de ambos endemismos en la actualidad (Ferrandis *et al.*, 2011). Así, la acción humana causante de la regresión incluiría las excavaciones por antiguas extracciones de yeso y construcción de canales artificiales, vertidos de aguas residuales, encauzamiento de ramblas, acumulación de escombros y basuras procedentes de la población de Cordovilla, así como la abundancia de urbanizaciones y vías de comunicación, tanto carreteras como caminos rurales (Ferrandis *et al.*, 2004).

Por otro lado, los saladares son muy vulnerables ante roturaciones por la ampliación de cultivos agrícolas colindantes, como es el caso del Saladar de Cordovilla. Debido al alto nivel de concentración de sales en el terreno, la productividad de los mismos es tan baja que se produce la interrupción de las prácticas agrarias y, en consecuencia, las parcelas se abandonan al poco tiempo. Además del aprovechamiento agrícola, cabe destacar la presencia de la actividad ganadera, que ha sido uno de los factores de amenaza más destacables. El sobrepastoreo provoca parcialmente la disminución de producción de semillas debido al mordisqueo de los brotes jóvenes de las especies vegetales, así como problemas de compactación edáfica a su paso (Copete *et al.*, 2003).

Otro factor de suma importancia y que no debe ser obviado es la actual Crisis Ambiental Global (CAG). Actualmente, el mayor reto al que hace frente la humanidad es la CAG, destacando por los problemas ambientales y sociales que ha originado la actividad antrópica durante el Antropoceno, de tal manera que es inequívoco que los seres humanos han ocasionado el actual contexto de cambio climático (IPCC, 2021). Los principales impulsores del cambio climático antropogénico, que deriva en la CAG actual, residen en diferentes factores, principalmente cambios en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), emisión de aerosoles, deforestación y fragmentación de hábitats y cambios en los usos del suelo (IPCC, 2021). Esto supone una amenaza grave debido a que las condiciones ambientales en las que la vegetación de saladar se desarrolló, se ven y se verán afectadas por la CAG, poniendo en riesgo la viabilidad de las poblaciones vegetales, sobre todo la de las poblaciones de endemismos. Por último, cabe mencionar la presencia de jabalíes y otras especies cinegéticas en la Reserva Natural, esto es un atrayente para actividades de caza, dejando a su paso la degradación de biodiversidad y del medio natural por presencia de basuras y restos de munición dispersas (Moreno *et al.*, 2024a).

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

2.1. Legislación actual y conservación

L. tobarrense y *L. admirabile* son dos endemismos albacetenses que presentan niveles de amenaza elevados. Por un lado, *L. tobarrense* recibe una categoría de amenaza de *En Peligro Crítico* CR B1ab(iii)+2ab(iii), según los criterios de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (UICN); mientras que la categoría de amenaza para *L. admirabile* es *En Peligro* EN B1ab(iii)+2ab(iii) (IUCN, 2012). En consecuencia, ambas especies presentan un elevado nivel de amenaza que las sitúa como especies *En Peligro de Extinción* (Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico). Cabe destacar que a pesar de encontrarse el género *Limonium*

reconocido y protegido por el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha, los endemismos objeto de estudio en el presente trabajo no se encuentran incluidos en el mencionado catálogo. Pese al elevado nivel de amenaza al que hacen frente ambos endemismos, ninguno de ellos 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. Es más, ninguna de las dos especies estudiadas se encuentra protegidas legalmente a nivel nacional ni incluidas en los Atlas o Libros Rojos o en Listas Rojas.

Por esa razón, a nivel autonómico, se crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha a partir del Decreto 33/1998, del 5 de mayo, y, se modifica por el Decreto 200/2001 del 6 de noviembre. La Ley de Conservación de la Naturaleza de Castilla-La Mancha (Ley 9/1999, de 26 de mayo; DOCM) establece la necesidad de elaborar Planes de Conservación (planes desarrollados para especies que presentan un nivel de amenaza de *Vulnerable* (VU) o inferiores) para las especies de fauna y flora silvestres amenazadas, para garantizar su conservación y protección, así como la de sus ecosistemas.

Para las especies en peligro de extinción, se elaboran Planes de Recuperación (planes desarrollados para especies que presentan un nivel de amenaza de *En Peligro* (EN) o *En Peligro Crítico* (CR), es decir, está orientado a especies catalogadas como *En Peligro de Extinción*) como herramienta de protección. Además, 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", con el fin de mejorar la conservación de estos ecosistemas, al representar el mejor ejemplo de biotopo halófito de interior de la Península Ibérica (Cubero, 2015).

2.2. Situación actual

Actualmente, estos dos endemismos están sometidos a un elevado grado de amenaza, pese a que se encuentran localizadas dentro de la ZEC "Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj" (ES4210011). Concretamente, en el Saladar de Cordovilla, los diferentes factores antrópicos incidentes ocasionan una intrusión humana notoria que afecta directamente al estado de conservación de ambos endemismos, aun estando en una figura de protección de la biodiversidad (i.e., Reserva Natural y ZEC). Estos factores de amenaza dan lugar a que las poblaciones y área de distribución de los endemismos se vean afectadas. Además, cabe destacar que *L. tobarrense* se localiza solamente en un solo parche dentro del área de estudio, mientras que *L. admirabile* se encuentra en diferentes parches dentro de

la ZEC. Es más, los diferentes estudios realizados hasta la fecha sobre ambos endemismos reflejan datos bajos en sus censos poblacionales (Terrones *et al.*, 2016a).

En lo referente a estudios elaborados que aborden a estos dos endemismos, no hay una extensa bibliografía, puesto que hasta 2016, año en el que se describió a *L. tobarrense*, no se llevaron a cabo estudios sobre el género *Limonium* en las inmediaciones de la ZEC. En consecuencia, hoy día se encuentran escasos estudios realizados sobre los endemismos objeto de este trabajo; en primer lugar, se encuentra el estudio elaborado por Moreno *et al*. (2016a), donde establecieron la descripción del endemismo *L. tobarrense*, destacando los factores ambientales que condicionan su crecimiento, el lugar en el que crece, características, etc. Posteriormente, Terrones *et al*. (2016a) realizaron una revisión taxonómica del género *Limonium* en la ZEC "Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj", derivando este estudio en la identificación de *L. admirabile* (Moreno *et al.*, 2018). Por último, Moreno *et al*. (2022; 2024b) elaboraron un estudio sobre la influencia de factores abióticos en la germinación de ambos endemismos.

En los estudios anteriormente citados, se clarifican cuáles son los principales factores de amenaza de estos endemismos, así como sus áreas de distribución y propuestas para mejorar su conservación. Es importante mencionar que cuando fueron descritas estas dos especies, no se incluyeron en ninguna figura de protección, por lo que no se encuentran incluidas en Listas o Libros Rojos de vegetación amenazada, ni en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (CNEA) ni siquiera son reconocidas como tal dentro de las listas de especies amenazadas de la UICN. A grandes rasgos, los elevados niveles de amenaza que *L. tobarrense* y *L. admirabile* presentan, junto con los factores de amenaza, principalmente antrópicos, más la carencia de encontrarse incluidas en listas y figuras de protección, ocasionan que su conservación se dificulte.

2.3. Justificación

Limonium tobarrense y *L. admirabile* son endemismos albacetenses que actualmente se encuentran protegidas en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha por pertenecer al género *Limonium*. Sin embargo, no son reconocidas como tal en dicho catálogo, de tal manera que no presentan ninguna figura de protección tales como las Listas o Libros Rojos, el CNEA o las listas de especies amenazadas de la UICN. Por otro lado, ambas especies presentan niveles de amenaza elevados, concretamente *En Peligro Crítico* CR B1ab(iii)+2ab(iii) para *L. tobarrense* y *En Peligro* EN B1ab(iii)+2ab(iii) para *L. admirabile*. Estos niveles de amenaza se corresponden con los diversos factores de amenaza a los que hacen frente estas especies; principalmente destaca la presión antrópica, referida, sobre

todo, a la agricultura intensiva y de regadío, la introducción de especies cinegéticas, tales como el jabalí, por parte de cazadores, y el sobrepastoreo derivado de la actividad ganadera.

Por una parte, el modelo de agricultura intensiva y de regadío en los límites de la Reserva Natural originan un grave problema de desgaste de recursos ambientales de alta importancia, además de que agricultores llevan a cabo desecaciones periódicas en el saladar a fin de lograr la degradación de los suelos, para posteriormente revalorizarlos y cambiarles el uso del suelo a uso agrícola. Por otra parte, la actividad ganadera viene de la mano de agrícola, en donde destaca primordialmente por un pastoreo masificado en los límites del saladar, pudiendo encontrarse restos de ganado dentro de la misma. Por último, la presencia de jabalíes en la zona a raíz de su introducción por parte de cazadores en la misma Reserva Natural da lugar a que la flora del saladar se vea afectada por estos animales. Además, cabe mencionar la presencia de basuras en varios puntos de la zona de estudio.

En cuanto a la investigación realizada en torno a estas dos especies, resalta la escasez de estudios y artículos científicos que aborden el estudio de sus características y elaboración de medidas de protección y conservación, habiendo hoy por hoy únicamente cinco estudios elaborados al respecto (Moreno *et al.*, 2016, 2018, 2022, 2024b; Terrones *et al.*, 2016a). Otro factor de elevada importancia es el actual contexto de los impulsores del cambio global en el Antropoceno, que dirigen condiciones ambientales cambiantes de manera extraordinaria. Así, cambios en la temperatura y las precipitaciones, junto con cambios edáficos, podrían afectar negativamente en la capacidad de germinación de ambos endemismos y su supervivencia, dificultando su estado de conservación.

A rasgos generales y por todas las cuestiones mencionadas, es urgente no demorar en la elaboración de un Plan de Recuperación para *L. tobarrense* y *L. admirabile*, pues tanto la carencia de estas especies de estar incluidas en listas de especies amenazadas y en consecuencia no presentar, relativamente, figuras de protección, así como los factores de amenaza antrópicos, ocasionan la fragmentación del hábitat, el agotamiento desmesurado de recursos naturales y degradan los suelos del saladar. Todo esto junto al actual contexto de CAG, da lugar a que la gestión de ambos endemismos se dificulte de sobremanera al no contar con directrices específicas para con su conservación. Por ello, se debe elaborar Planes de Recuperación para *L. tobarrense* y *L. admirabile* urgentemente.

2.4. Objetivos

El objetivo general de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es revisar el estado actual de conservación de las especies vegetales *Limonium tobarrense* y *L. admirabile* en la Reserva Natural “Saladar de Cordovilla”. Además, se elaborará un Plan de Recuperación para ambos

endemismos con los resultados obtenidos. Para llevar a cabo este objetivo, se han establecido cinco objetivos específicos:

- *Objetivo 1.* Actualizar el área de distribución de *L. tobarrense* y *L. admirabile*.

- *Objetivo 2.* Determinar las amenazas actuales que afectan a ambos endemismos.

- *Objetivo 3.* Evaluar la evolución de las poblaciones de *L. tobarrense* y *L. admirabile* en la Reserva Natural "Saladar de Cordovilla" mediante modelos predictivos.

- *Objetivo 4.* Estudiar la viabilidad del banco de semillas de ambas especies a lo largo del tiempo.

- *Objetivo 5.* Establecer directrices de conservación para *L. tobarrense* y *L. admirabile*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

El Saladar de Cordovilla se localiza en Tobarra (38º 32' 03,6'' N, 01º 37' 23,5'' W), en la provincia de Albacete. El saladar está incluido en la Zona de Especial Conservación (ZEC) "Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj" (ES4210011), en los términos municipales de Hellín y Tobarra (Albacete), a 532 metros sobre el nivel del mar (Cirujano, 1989). Este enclave aparece en el piso bioclimático mesomediterráneo semiárido, estando caracterizado por un clima típicamente mediterráneo (i.e., altas temperatura y escasas precipitaciones con tres meses de sequía estival) (Rivas-Martínez *et al.*, 2007). La temperatura media anual de la zona es de c. 14,4ºC y el total anual de precipitaciones registrado es de 324,2 mm, aunque los meses de abril-mayo y octubre-noviembre muestren precipitaciones más abundantes. La temperatura media durante el mes más cálido (julio) es de 25,5ºC, mientras que la temperatura media del mes más frío (enero) es de 6,65ºC, según los datos históricos de la estación meteorológica de Tobarra (Valdés *et al.*, 1993; Rivas-Martínez *et al.*, 2007).

Este enclave representa un saladar de interior, que muestra gradualmente un gradiente de salinidad que determina la vegetación de la zona. El origen del Saladar de Cordovilla es epigénico, lo que significa que el alto nivel de salinidad que presenta es debido a la naturaleza de los materiales sobre los que se asienta. Los suelos predominantes son los entisoles, caracterizados por ser suelos superficiales sobre materiales rocosos en los que predominan texturas de francoarenosas a francoarcillosas. Por otro lado, están los inceptisoles, que se encuentran a profundidades variables, y se caracterizan por tener elevadas cantidades de carbonato cálcico en el suelo (Molina *et al.*, 2001).

Las aguas presentes en la zona, tanto las de escorrentía como las subterráneas, adquieren su carácter salino tras el lavado de sales del sustrato. Además, cabe añadir que existen períodos en los que la zona queda inundada, dependiendo del régimen pluviométrico (Herranz *et al.*, 1999). Es más, este hábitat destaca por ser el mejor ejemplo de biotopo halófito continental de la Península Ibérica, mostrando una gran biodiversidad y un elevado valor ecológico (Cubero, 2015). Cabe añadir que la zona de estudio presenta una superficie de 1206,83 m^2 frente a las 1390 hectáreas con las que cuenta la Reserva Natural del Saladar de Cordovilla. Cabe destacar que *L. tobarrense* aparece únicamente en el Saladar de Cordovilla; mientras que, *L. admirabile* se ha observado en el Saladar de Cordovilla, la Laguna de Alboraj y al norte de Albacete (Terrones *et al.*, 2016a).

Así, las principales características de esta zona residen en su alto nivel de aridez y salinidad debido a la naturaleza de los materiales sobre los que se asienta, y, por albergar una importante variedad de especies vegetales halófitas, halonitrófilas y gipsófilas, destacando además por la presencia de varios endemismos de especies del género *Limonium* y otras especies típicas de saladar. La vegetación se divide siguiendo este modelo (Moreno *et al.*, 2018): En primer lugar, está la zona de suculentas, caracterizadas por presentar suelos con un elevado nivel de salinidad. Las principales especies que colonizan este tipo de suelos, se les denomina plantas suculentas, destacando especies como *Arthrocaulon macrostachyum* (Moric.) Moris, *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Bieb y *Salicornia fruticosa* (L.) A. J. Scott. Dentro de esta zona, estas especies se distribuyen en función de la textura del suelo y la conductividad eléctrica, de tal manera que *H. strobilaceum* crece en suelos con un alto porcentaje de arenas y bajos niveles de sodicidad, mientras que *A. macrostachyum* y *S. fruticosa* se desarrollan en zonas que presentan unos niveles intermedios. Por otro lado, en aquellas zonas de menor salinidad, aparecen plantas no suculentas, resaltando la presencia de especies del género *Limonium* y *Lygeum spartum* L., además de haber árboles del género *Tamarix*. Además, en las zonas intermedias de sodicidad y textura, aparecen las comunidades de *Limonium* morfotipo B y C (i.e., *Limonium supinum* (Girard) Pignatti; *Limonium cossonianum* Kuntze). En zonas con mayores niveles, surgen las comunidades de *Limonium* morfotipo A (i.e., *Limonium caesium* (Girard) Kuntze). En zonas alteradas crece matorral halonitrófilo, estando conformado por especies tales como *Suaeda vera* Forsskal ex J.F. Gmelin, que surge junto a especies de *Limonium* y *L. spartum* (González-Alcaraz *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2018).

3.2. Censos, proyección en mapa y muestreo en campo

Se han realizado varios censos durante la elaboración de este trabajo, concretamente, en los meses de junio y octubre de 2024, y en marzo de 2025. Los censos se realizaron en el Saladar de Cordovilla. En el primer censo, se censaron solamente 96

individuos de *L. admirabile*. En el segundo, se contabilizaron 169 individuos de *L. admirabile*, mientras que de *L. tobarrense* se censaron 19 individuos. Finalmente, se censaron 89 individuos de *L. tobarrense* y 2375 de *L. admirabile* en marzo de 2025. Además, se ha empleado una base de datos en la que se ha obtenido información sobre censos de estas especies de años anteriores (datos de los años 2016, 2018 y 2021), con el fin de evaluar y actualizar el área de extensión y ocupación de ambos endemismos.

Por otra parte, se ha empleado el programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) 'Quantum GIS' (QGIS) (QGIS Development Team, 2024) para la realización de mapas en los que se recaba la zona de estudio y la localización de los individuos censados. Estos mapas constan de varios mapas en los que se muestra puntos de *L. tobarrense* y *L. admirabile* ubicados en el Saladar de Cordovilla (individuos censados). Se ha empleado una ortofoto de máxima actualidad (PNOA, 2021) para poder ver claramente en qué zona se asientan los individuos censados y así poder designar áreas críticas necesarias para mejorar el estado de conservación de ambos endemismos. Finalmente, se han tomado muestras de suelo en el saladar con el objetivo de caracterizar sus propiedades físico-químicas (i.e. conductividad eléctrica (C.E.), cationes y aniones y humedad).

3.3. Análisis estadísticos

Elaborar modelos predictivos es crucial para obtener información importante sobre los factores que van a incidir en la evolución de las poblaciones de los endemismos amenazados. Para ello se ha utilizado el programa estadístico MaxEnt v. 3.3.4, (Phillips *et al.*, 2025), en el que se han realizado varios modelos predictivos. Este programa permite modelar sobre la probabilidad de distribución de máxima entropía de una especie, y se puede emplear para predecir la distribución potencial de diferentes especies cuando se satisface esa máxima entropía bajo determinadas condiciones (Phillips *et al.*, 2006). A grandes rasgos, MaxEnt permite predecir la distribución potencial de las especies mediante el análisis de la información geográfica de las especies estudiadas y diversos parámetros ambientales.

Por un lado, se ha modelado la evolución de las poblaciones de las especies con diferentes parámetros ambientales. Estos han sido 19 factores bioclimáticos y un factor de elevación (resolución de píxel de 30 s) descargados de la base de datos 'WorldClim' (Fick & Hijmans, 2017). También se ha empleado un mapa con datos sobre los usos del suelo, descargado del centro de datos de la FAO (FAO & IIASA, 2023). Por otro lado, se ha utilizado el programa estadístico R v.4.4.2 (R Core Team, 2024) para elaborar modelos predictivos sobre la evolución de las poblaciones de ambos endemismos en el futuro, concretamente en el corto y mediano plazo, siendo respectivamente el espectro temporal utilizado cinco y diez

años, contando a partir del año 2024. Así se puede observar la evolución de los individuos de ambos endemismos en los parches de vegetación descritos en el tiempo.

Las especies endémicas deben estar agrupadas en un archivo .csv. Una vez añadidos todos los factores bioclimáticos actuales, el factor de elevación, y los datos de uso del suelo, MaxEnt ha calculado la distribución de las especies. Los factores bioclimáticos son una serie de datos ambientales relativos a precipitación y temperatura, así como sus medias anuales, mensuales, trimestrales, entre otras (*Tabla 1*). Los datos de elevación proporcionan información acerca de la elevación del terreno con respecto al nivel del mar. Los datos de usos/ocupación del suelo, revelan información acerca de datos edáficos, en donde la base de datos empleada para la construcción del ráster contiene más de 20 propiedades edáficas comunes, tales como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total, relación C/N y saturación de aluminio, entre otros (*Tabla 2*). Además, para la realización de los modelos predictivos, se ha utilizado la función de creación de curvas de respuestas para los parámetros ambientales añadidos.

Por otro lado, se ha utilizado la función ARIMA del paquete *forecast* (Hyndman *et al.*, 2025), que se utiliza para ajustar modelos ARIMA a series temporales en el software estadístico R. Básicamente permite especificar los órdenes del modelo y estimar los parámetros del modelo mediante máxima verosimilitud con los coeficientes ajustados.

Tabla 1. Codificación de los factores bioclimáticos explicados (Fick & Hijmans, 2017).

FACTORES BIOCLIMÁTICOS	
BIO 1	Temperatura media anual.
BIO 2	Rango diurno medio (media mensual de temp max – temp min).
BIO 3	Isotermalidad (BIO 2/ BIO 7) *100.
BIO 4	Temperatura estacional (desviación estándar) *100.
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido.
BIO 6	Temperatura minima del mes más frío.
BIO 7	Rango anual de temperature (BIO 5 – BIO 6).
BIO 8	Temperatura media del trimestre más lluvioso/húmedo.
BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco.
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido.
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío.
BIO 12	Precipitación anual.
BIO 13	Precipitación del mes más lluvioso.
BIO 14	Precipitación del mes más seco.
BIO 15	Precipitación estacional (coeficiente de variación).
BIO 16	Precipitación del trimestre más lluvioso.
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco.
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido.
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío.

Tabla 2. Parámetros edáficos incluidos en la base de datos del raster de la FAO (FAO & IIASA, 2023).

PARÁMETROS EDÁFICOS	
Parámetro 1	Datos de suelo de ISRIC - WISE reemplazados con datos de la base de datos WISE30sec, aumentando los perfiles de suelo de 10.250 a 21.000.
Parámetro 2	WISE30sec utiliza una covariante climática basada en la clasificación Köppen-Geiger, que reemplaza la variante de textura de la capa superior del suelo en el HWSD original.
Parámetro 3	HWSD v2.0 tiene siete capas de profundidad: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm, 100-150 cm y 150-200 cm. La versión anterior solo tenía dos capas.
Parámetro 4	Datos ampliados de atributos del suelo en HWSD v2.0 incluyen CIC efectiva, nitrógeno total, relación C/N y saturación de aluminio.
Parámetro 5	Bases de datos nacionales de suelos de Afganistán, Ghana y Turquía, lo que ha aumentado las unidades de mapeo de suelos de 16.327 a 29.538.
Parámetro 6	HWSD v2.0 utiliza la leyenda revisada de la FAO de 1990 para todas las unidades de suelo, correlacionada con la Base de referencia mundial para los recursos del suelo (2022).
Parámetro 7	Se ha agregado una nueva capa de cobertura terrestre para una mejor identificación de áreas edificadas, utilizada para clasificar Antrosoles úrbicos y tecnosoles.
Parámetro 8	Parámetros específicos del suelo actualizados: profundidad del suelo de referencia reemplazada por profundidad del suelo enraizable; AWC recalculado; clase textural del USDA y densidad aparente de referencia incluidas para todas las capas de profundidad.
Parámetro 9	Información de la fase del suelo del Mapa Digital de Suelos del Mundo integrada, definiendo los Grupos de Referencia de Suelos y las Unidades de Suelo del WRB.
Parámetro 10	Visor HWSD mejorado para manejar información ampliada en HWSD v2.0.
Parámetro 11	Resolución sostenida de 1 km (30 segundos de arco).
Parámetro 12	Estimaciones de errores y estadísticas para los parámetros del suelo disponibles en la base de datos WISE30sec.

3.4. Análisis de los requerimientos ecológicos

En primer lugar, la humedad del suelo se ha estimado justamente después de haber recogido muestras de suelo usando el método de retención de agua durante 12 horas en una estufa a 110ºC (Burt, 2004). El resto de la muestra se ha secado, machacado y tamizado con un tamiz de 2 mm para así poder eliminar los fragmentos gruesos antes de dar paso al resto de análisis de laboratorio (Burt, 2004). Posteriormente, se han obtenido extractos de saturación a partir de pastas saturadas que se han obtenido a través de filtrar a vacío. Por otra parte, la conductividad eléctrica (C.E.) también se ha medido en los extractos de saturación empleando un conductímetro Crison CM 35+. Mientras tanto, las pastas saturadas se han dejado secar durante 12 horas a 110ºC en la estufa, y se ha realizado el cálculo del porcentaje de saturación después para poder estimar la capacidad de campo (Burt, 2004). Además, se han medido las concentraciones específicas de sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y azufre (S) (el azufre ha sido empleado como un indicador de sulfato (SO_4^{2-})) mediante Espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplada inductivamente (ICP-AES, por sus siglas en inglés) (Perkin Elmer 7300 DV). Por otra parte, se han empleado diferentes longitudes de onda (λ) para realizar las mediciones; las λ han sido de 589 nm para

Na^+, 766 nm para K^+, 317 nm para Ca^{2+}, 279 nm para Mg^{2+} y 180.7 y 182.0 nm para S (Burt 2004). Cabe añadir que la concentración de cloruros en los extractos de saturación se ha medido utilizando argentometría con nitrato de plata ($AgNO_3$) (Harris, 2003).

3.5. Viabilidad del banco de semillas

Los bancos de semillas naturales son los lugares físicos en los que se depositan y quedan guardadas las semillas de un entorno. Además, representan uno de los métodos más efectivos de conservación *ex situ* (Di Sacco, 2018); *L. tobarrense* y *L. admirabile* presentan bancos de semillas dispersos por la zona de estudio, y conocer la viabilidad que tienen estas semillas resulta indispensable a la hora de redactar el Plan de Recuperación de ambas especies endémicas. En primer lugar, se han contado 25 semillas de cada endemismo, y se han preparado cuatro réplicas de placas de Petri en las que se han incluido las semillas, y que se han germinado en agua destilada; estas semillas han sido previamente desinfectadas con lejía diluida (1% v/v). Posteriormente, una vez ya germinadas, han sido plantadas en bandejas de siembra con un sustrato de turba y vermiculita (1:3).

Por otro lado, se ha calculado la viabilidad del banco de semillas para los lotes preparados. Además, se ha empleado una base de datos en la que se ha obtenido información sobre la viabilidad de estas semillas de años anteriores (datos de los años 2016, 2018, 2021 y 2024), con el fin de evaluar, actualizar y corroborar la viabilidad de los bancos de semillas de ambos endemismos a lo largo del tiempo.

4. RESULTADOS

4.1. Actualización del área de distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*

La realización de censos de poblaciones de *L. tobarrense* y *L. admirabile* es crucial para poder determinar y actualizar el área de distribución de ambos endemismos respecto a las poblaciones datadas desde el descubrimiento y descripción de ambas especies. Por ello, se han realizado varios censos en el Saladar de Cordovilla, contando a los individuos de ambos endemismos en cada una de las poblaciones definidas, pertenecientes a un mismo parche. Por un lado, *L. tobarrense* presenta una distribución conocida en un único parche dentro del Saladar de Cordovilla, derivando en, al menos, dos poblaciones reconocidas dentro del área de estudio. Por otro lado, *L. admirabile* se distribuye por otras manchas dentro de la Reserva Natural, y su presencia respecto a *L. tobarrense* es mayor. No obstante, para poder estimar el área de distribución de ambos endemismos es preciso conocer información relativa a otros censos realizados en años anteriores. Concretamente, se ha

tomado como referencia los censos realizados en 2016, 2018, 2021, 2024 y 2025 llevados a cabo en los meses de junio y octubre cada uno (*Tabla 3*).

Los diferentes censos realizados mostraron en el Saladar de Cordovilla dos parches de *L. tobarrense* y tres parches de *L. admirabile* localizadas en la zona de estudio (*Tabla 3*). Los censos obtenidos para *L. admirabile* datan de 560 (julio 2016), 614 individuos (octubre 2016), 400 individuos (julio 2018), 438 individuos (octubre 2018), 147 individuos (julio 2021), 192 individuos (octubre 2021), 96 individuos (julio 2024), 169 individuos (octubre de 2024) y 2375 individuos (marzo 2025). Por otro lado, para *L. tobarrense*, los censos dan como resultado a 52 individuos (octubre 2016), 27 individuos (octubre 2018), 15 individuos (octubre 2021), 19 individuos (octubre 2024) y 89 individuos (marzo 2025) (*Tabla 3*). Cabe añadir que se han realizado 19 mapas cartográficos en los que se muestra la evolución del área de distribución de ambos endemismos en el tiempo (*Figuras A-S en el Anexo I*).

Tabla 3. Censos de *L. tobarrense* y *L. admirabile* en el Saladar de Cordovilla. Los datos de los años 2016, 2018 y 2021 han sido extraídos de la base de datos del equipo de trabajo.

	Julio 2016	Octubre 2016	Julio 2018	Octubre 2018	Julio 2021	Octubre 2021	Julio 2024	Octubre 2024	Marzo 2025
L. tobarrense	0	52	0	27	0	15	0	19	89
P1	0	52	0	22	0	5	0	19	0
P2	0	0	0	5	0	10	0	0	89
L. admirabile	560	614	400	438	147	192	96	169	2375
P1	426	513	262	321	37	84	96	169	2025
P2	73	80	76	62	59	66	0	0	300
P3	61	21	62	55	51	42	0	0	50

4.2. Amenazas actuales de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*

Los diferentes factores de amenaza a los que hacen frente ambos endemismos residen, sobre todo, en acciones antrópicas, aunque la presencia de otras amenazas supone un riesgo considerable en la conservación de estas especies endémicas. En general, se pueden clasificar las amenazas en función de su peligrosidad e incidencia en las labores de gestión y conservación de ambos endemismos (*Tabla 4*). Así, la agricultura de regadío, la roturación del suelo y los incendios por quemas agrícolas han representado el mayor grado de amenaza; mientras que el sobrepastoreo, las actividades cinegéticas y el cambio climático han supuesto una amenaza menor respecto a las anteriores. Finalmente, los vertidos de aguas residuales, la extracción de minerales y las obras hidráulicas, así como la presencia de basuras han sido amenazas moderadas y leves, respectivamente (*Tabla 4*).

Tabla 4. Tabla de amenazas. Código de colores: rojo, Muy alto; naranja, Alto; amarillo, Intermedio; verde, Bajo.

FACTOR DE AMENAZA	2016	2018	2021	2024
Agricultura de regadío				
Roturación del suelo				
Incendios por quemas agrícolas				
Sobrepastoreo				
Actividades cinegéticas				
Cambio climático				
Vertidos de aguas residuales				
Extracción de minerales y obras hidráulicas				
Presencia de basuras				

4.3. Modelos predictivos de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*

La realización de modelos predictivos permite obtener datos acerca de la evolución futura de diversos parámetros de interés. En este caso, se han realizado varios modelos predictivos para conocer la evolución de los parches de los endemismos en función de los factores ambientales incidentes en dicha evolución. Por un lado, se ha modelizado la evolución de los parches teniendo en cuenta solamente los factores ambientales actuales (factores bioclimáticos, de elevación y características edáficas). Por otro lado, ha empleado R para modelizar posibles escenarios futuros en intervalos de cinco y diez años.

En primer lugar, se ha obtenido una serie de gráficas de curvas de respuesta para *L. admirabile* y *L. tobarrense*, destacando la prácticamente nula variación de los individuos de los parches de ambos endemismos en cada una de las variables ambientales utilizadas para la formación del modelado. Por otro lado, se han obtenido gráficas de omisión/comisión en las que se muestra la tasa de omisión y el área predicha en función del umbral acumulativo, teniendo un notorio descenso para ambos endemismos conforme el valor fraccional desciende y aumenta la acumulación umbral, lo que indica que la predicción señala hacia una posible extinción de los individuos de los endemismos. Además, la curva Característica Operativa del Receptor (ROC, por sus siglas en inglés), presenta un Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de 0,500 al haber empleado el área predicha para definir la especificidad para ambos endemismos en vez de la comisión verdadera. Finalmente, se ha obtenido un mapa de distribución potencial de las dos especies; este mapa utiliza una escala de colores para determinar aquellas zonas que tengan mejores condiciones previstas para que las especies se asienten y surjan. Los colores cálidos muestran aquellas zonas con mejores condiciones previstas y viceversa, siendo en este caso un mapa homogéneo de color verde claro, lo que indica una distribución potencial anegada a la Reserva Natural del Saladar de Cordovilla para ambos endemismos (*Figuras A-F en el Anexo II*).

En segundo lugar, se han obtenido dos gráficos sobre la evolución de los individuos de ambos endemismos en los parches de vegetación. Tanto en intervalos de cinco años, como de diez, las poblaciones de ambos endemismos se encaminan hacia un descenso notable, lo que indica que hay sendas probabilidades de que ambos endemismos se extingan en el corto y medio plazo (*Figuras 2*). Pese a haber picos de individuos en las poblaciones, esto es, mayor número de individuos en los meses lluviosos y menor durante los cálidos, el descenso general de individuos en sus poblaciones indica que los parches de vegetación sobre los que se asientan ambos endemismos en el saladar irán siendo cada vez menores, hasta el punto de que lleguen a desaparecer las poblaciones en el corto plazo (*Figuras 2*). Cabe destacar que, aun habiendo un crecimiento exponencial de individuos en las poblaciones de ambos endemismos al inicio de la primavera meteorológica, debido al lavado de sales, estos endemismos irán perdiendo paulatinamente individuos conforme cesen las precipitaciones y comience el verano meteorológico, y con ello, el aumento de las temperaturas y la acumulación de sales.

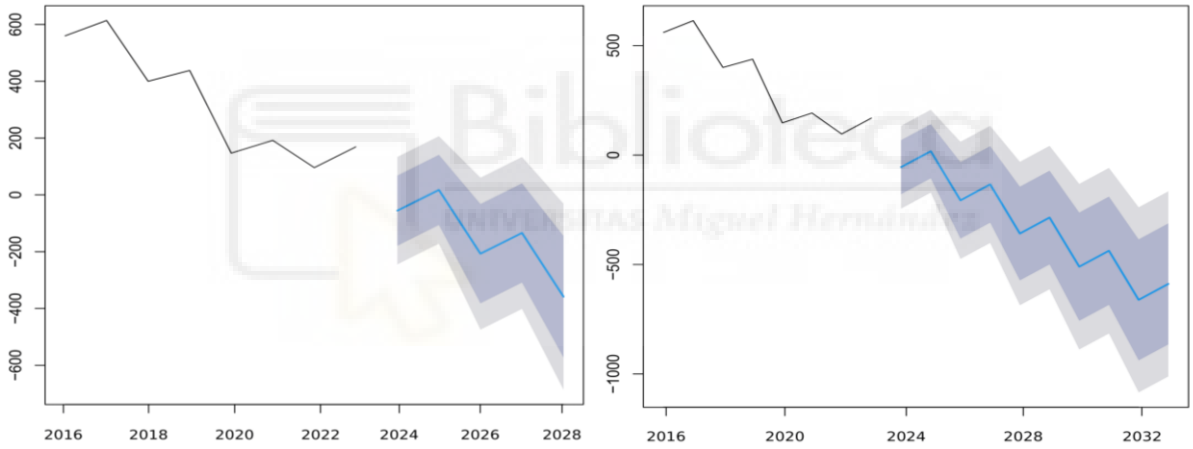

Figura 2. Modelo predictivo de evolución poblacional de *L. admirabile y L tobarrense* en cinco (izquierda) y diez años (derecha).

4.4. Caracterización edáfica

Los suelos en los que ambos endemismos crecen presentan características ecológicas diferentes (*Tabla 5*). Por una parte, la concentración de concentraciones específicas de Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} y S y de Cl^- ha sido superior en las muestras de suelo de *L. admirabile* que en las muestras de *L. tobarrense*. Las concentraciones en promedio de los suelos de *L. admirabile* han sido 6923,12 ppm de Na^+, 215,72 ppm de K^+, 949,36 ppm de Ca^{2+}, 1030,54 ppm Mg^{2+}, 1794,23 ppm S y 12823,58 ppm de Cl^-. Por otro lado, los promedios en los suelos de *L. tobarrense* han sido 4314,95 ppm de Na^+, 144,48 ppm de K^+, 804,24 ppm de Ca^{2+}, 701,11 ppm Mg^{2+}, 1363,89 ppm de S y 8530,07 ppm de Cl^-. Por otra parte, los suelos de *L. tobarrense* han presentado un porcentaje de humedad superior que los suelos de *L. admirabile*, siendo

de un 25,73% frente a 19,79%, respectivamente. Además, la conductividad eléctrica ha sido menor que en los suelos de *L. admirabile*, habiendo una concentración de 20,83 mS/cm frente a 31,13 mS/cm (*Tabla 5*). Por otro lado, la desviación estándar ha sido elevada, lo que indica que las condiciones químicas son bastante heterogéneas dentro cada grupo, es decir, dentro de cada muestra.

Tabla 5. Concentraciones específicas de sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), azufre (S; en forma de sulfato (SO_4^{2-})) y cloro (Cl^-), y conductividad eléctrica (C.E.) y porcentaje de humedad. Abreviaturas: SD, desviación típica.

Especie	Muestra	Na^+ (ppm)	Cl^- (ppm)	K^+ (ppm)	Ca^{2+} (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	SO_4^{2-} (ppm)	C.E. (mS/cm)	% Humedad
Limonium admirabile	**1**	5725,32	10851,79	183,01	882,71	879,25	1596,60	26,40	23,04
	2	9951,35	17808,61	298,44	1117,85	1413,03	2293,89	43,10	15,07
	3	5092,68	9810,35	165,73	847,51	799,34	1492,21	23,90	21,27
	Promedio	**6923,12**	**12823,58**	**215,72**	**949,36**	**1030,54**	**1794,23**	**31,13**	**19,79**
	SD	**2641,54**	**4348,45**	**72,15**	**146,97**	**333,65**	**435,85**	**10,44**	**4,18**
Limonium tobarrense	**1**	7749,77	14184,39	238,30	995,35	1134,95	1930,63	34,40	21,64
	2	1519,53	3928,29	68,13	648,70	348,02	902,64	9,78	33,77
	3	3675,56	7477,52	127,02	768,66	620,35	1258,39	18,30	21,77
	Promedio	**4314,95**	**8530,07**	**144,48**	**804,24**	**701,11**	**1363,89**	**20,83**	**25,73**
	SD	**3163,95**	**5208,44**	**86,42**	**176,04**	**399,63**	**522,05**	**12,50**	**6,97**

4.5. Viabilidad del banco de semillas a lo largo del tiempo.

Se ha obtenido una viabilidad de los bancos de semillas del 77% para *L. tobarrense*, mientras que para *L. admirabile* el porcentaje de viabilidad es del 86% en 2025. Por otra parte, los porcentajes de viabilidad de años anteriores datan en 92% para *L. tobarrense* y 91% para *L. admirabile* en 2016, 84% para *L. tobarrense*, y para *L. admirabile* 91% en 2018, 80% para *L. tobarrense*, y para *L. admirabile* 85% en 2021. Por último, la variabilidad de las semillas en 2024 ha sido del 78% para *L. tobarrense*, y del 84% para *L. admirabile* (*Tabla 6*). Además, la desviación típica es baja, lo que muestra que los datos son bastante homogéneos y se encuentran poco dispersos (*Tabla 6*).

Tabla 6. Semillas germinadas de *L. tobarrense* y *L. admirabile*. Abreviaturas: SD, desviación típica.

Especie	Réplica	2016	2018	2021	2024	2025
Limonium admirabile	92%	92%	88%	80%	88%	92%
	96%	88%	80%	80%	80%	96%
	92%	92%	80%	92%	88%	92%
	84%	92%	92%	84%	88%	84%
	Promedio ± SD	91% ± 0,05	91% ± 0,02	85% ± 0,06	84% ± 0,06	86% ± 0,04
Limonium tobarrense	1	96%	96%	80%	80%	72%
	2	96%	84%	80%	76%	76%
	3	92%	72%	76%	72%	76%
	4	84%	84%	84%	84%	84%
	Promedio ± SD	92% ± 0,06	84% ± 0,10	80% ± 0,03	78% ± 0,05	77% ± 0,05

5. DISCUSIÓN

5.1. Evaluación del área de distribución de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*.

Los endemismos censados en 2024 presentan un área de distribución reducida que se asienta en el cauce de la zona de estudio (i.e., en la zona del carrizal y alrededores cercanos). Sin embargo, esta área de distribución aumenta de manera exponencial en los meses de inicio de la primavera meteorológica, aumentando el número de individuos en las poblaciones de ambos endemismos en comparación con los meses de sequía parcial. Esto podría deberse a que, pese a que estas dos especies presentan adaptaciones a las condiciones salinas sobre las que se asientan sus poblaciones, necesitarían un lavado de estas sales durante los meses de lluvia para que tenga lugar un notorio incremento del número de individuos. No obstante, durante los meses secos y el verano, sus poblaciones sufren notorios recesos en sus individuos; de esta manera, es durante los meses cálidos y secos, y los acompañados por sequías, que las poblaciones de los endemismos son más vulnerables. Esta evidencia estaría apoyada por los resultados obtenidos por Moreno *et al*. (2024b), donde se realizó un estudio de afección de los factores abióticos en la germinación de *L. tobarrense*. Al estudiar el efecto de la salinidad, la especie mostró valores elevados en el porcentaje final de germinación (FGP, por sus siglas en inglés) en condiciones húmedas. Este porcentaje disminuyó conforme se aumentó el porcentaje de salinidad, sometiendo a la especie a rangos salinos de entre 0 y 1,5%, estando el mayor descenso en la FGP en los primeros rangos de salinidad. Además, realizaron un análisis de la varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) para descartar que otros factores, tales como la temperatura, tuvieran que ver con el resultado obtenido; la ANOVA demostró que sólo incidía la salinidad, al obtener un p valor inferior a 0,001, lo que indica que hay diferencias significativas en la variación de la FGP por el efecto de la salinidad. En otras palabras, el lavado de sales por parte de la precipitación es clave en el desarrollo de individuos de ambos endemismos, sobre todo, para *L. tobarrense*, al presentar una menor tolerancia a la salinidad (Moreno *et al.*, 2024b).

El área de distribución de ambos endemismos se ha visto alterada a lo largo del tiempo (i.e., se ha observado un receso en los individuos por parches poblacionales), tal y como se refleja en todos los censos realizados. Esto estaría relacionado con la respuesta de ambas especies ante los factores de amenaza que se dan en las inmediaciones del saladar (Ferrandis, 2004, 2010, 2011). A ello se sumaría la carencia de estrategias de protección y conservación enfocadas a ambas especies, lo que acentuaría la situación de descenso poblacional (Terrones *et al.*, 2016a). Además, en el caso de *L. tobarrense*, es interesante observar cómo únicamente aparece durante los meses menos cálidos del año de forma puntual, de tal manera que no representaría datos de individuos censados en los meses de verano. Esto demostraría que la especie tiene una mayor afinidad a la humedad y menor

tolerancia a la salinidad que *L. admirabile*, tal y como indican Moreno *et al*. (2024b), pues en este estudio se observa la afección de la salinidad a la germinación de las semillas de *L. tobarrense*, en detrimento a la humedad, habiendo un mayor FGP en condiciones de humedad que en condiciones salinas. En general, *L. admirabile* presenta un área de distribución que se ha degradado considerablemente con el tiempo, pese a que su población abarcaba una parte considerable del Saladar de Cordovilla. Por otro lado, *L. tobarrense* presenta censos reducidos asentándose, principalmente, cerca de las zonas freáticas, disminuyendo igualmente con el tiempo.

5.2. Evaluación de las amenazas de *Limonium tobarrense* y *L. admirabile*.

Los factores de amenaza de ambos endemismos están bastante marcados e influyen en sus poblaciones (Ferrandis *et al.*, 2004, 2010, 2011). Entre estas amenazas, destacan las siguientes: la presencia agrícola en los límites de la Reserva Natural, la degradación del suelo por extracción de recursos hídricos en pos de aumentar la superficie agrícola, la introducción de jabalíes y otras especies cinegéticas para caza dentro de la propia Reserva Natural, el sobrepastoreo, el cambio climático, los vertidos de aguas residuales, la extracción de minerales y las obras hidráulicas, y la presencia de basuras y restos de municiones en el saladar (Moreno *et al.*, 2024a).

Pese a encontrarse en un espacio protegido, es decir, en la Reserva Natural y en la ZEC, la presencia de factores de amenaza provocados por actividades humanas hace peligrar las poblaciones de ambos endemismos. Por un lado, es cierto que amenazas graves tales como el sobrepastoreo han tenido un evidente receso en su incidencia con la conservación de la biodiversidad en el entorno del saladar (Moreno *et al.*, 2024a). Sin embargo, otros factores de amenaza persisten, destacando la actividad biológica de jabalíes, que afecta a individuos y la fragmentación del hábitat que va provocando la ampliación de los terrenos de cultivo en los límites de la ZEC (*obs. pers.*). También cabe mencionar la roturación del suelo y el avance de los cultivos intensivos, pues estas amenazas no solo perduran en el tiempo, al ya haber sido descritas con anterioridad por Valdés et al., (1993) y Ferrandis *et al.*, (2004, 2010, 2011), sino que han incrementado (obs. pers.). El saladar es altamente dependiente de mantener un régimen hidrológico inalterado, para la proliferación de especies halófilas, típicas de saladar (Valdés et al., 1993). Sin embargo, esta amenaza ha ido incrementando en el tiempo, al haberlo hecho también los avances agrícolas intensivos. Cabe añadir que el resto de amenazas que afectan a ambos endemismos (*Tabla 4*), perduran actualmente (i.e. vertidos de aguas residuales), pero, no suponen factores de amenaza que presente un severo riesgo hacia los dos endemismos actualmente.

El estado del ecosistema en los alrededores de la zona de estudio si bien se encuentran bien conservados, la degradación y fragmentación del hábitat afectan gravemente a la distribución de ambos endemismos por el Saladar de Cordovilla. Se ha observado un retroceso continuado de los individuos en las poblaciones de ambos endemismos, lo que indica un receso poblacional cada vez más notorio, pudiendo llegar a derivar en la extinción de ambos endemismos al carecer de medidas de conservación, estrategias de gestión y figuras de protección. En general, pese a estar localizados en una de las ZEC mejor conservadas de la Península Ibérica (Moreno *et al*., 2024a), con un entorno ecosistémico que se mantiene relativamente estable, y la disminución del sobrepastoreo en las inmediaciones de la Reserva Natural, el resto de las amenazas antrópicas tales como la agricultura, quemas agrícolas, roturación del suelo, entre otras, siguen vigentes actualmente, e incluso aumentan la presión antrópica que ejercen en el saladar. Además, pese a que el resto de factores de amenaza no supongan un notorio riesgo hoy día, son amenazas que no han descendido y siguen perdurando y afectando negativamente al ecosistema en el que se encuentran ambos endemismos. Por otro lado, es importante tener en cuenta cómo el cambio climático afecta a la germinación y crecimiento de los individuos de las poblaciones de ambos endemismos, a fin de poder realizar un mejor diagnóstico de amenazas y proceder a elaborar medidas de gestión que tengan en cuenta la variación de los factores ambientales característicos de la zona de estudio.

5.3. Modelos predictivos.

Los modelos realizados a partir de MaxEnt y R proporcionan información sobre la distribución potencial y la evolución de las poblaciones en el futuro de ambos endemismos en la zona de estudio. MaxEnt es un programa estadístico que calcula la distribución de las especies a partir de la máxima entropía que una especie demuestre (Phillips *et al*., 2006). Ante un caso de dos endemismos localizados en parches de vegetación muy locales, de tal manera que soló presentan esas poblaciones en esa zona en concreto, los resultados que se vayan a obtener con MaxEnt pueden llegar a ser poco representativos o prácticamente nulos, al ser trivial que la distribución potencial de dos endemismos locales va a ser, a priori, la misma en la zona en la que habitan. Básicamente, MaxEnt calcula que la distribución potencial actual para ambos endemismos va a seguir siendo la misma, pues ambas especies son endemismos muy locales al estar muy arraigados y localizados al medio físico sobre el que crecen (Moreno *et al*., 2016, 2018).

Por otra parte, MaxEnt puede trabajar idealmente con endemismos en caso de que estos presenten un área de distribución considerable, además de una base de datos de censos de individuos de una especie aceptables y suficientes. Tal es el caso de los endemismos

gypsófilos (i.e. *Gypsophila bermejoi* G. López) estudiados por de Luís *et al.*, (2018), donde el área de distribución total estudiada fue de 623000 km^2, contando con una gran cantidad de individuos gypsófilos endémicos de la Península Ibérica. A grandes rasgos, se han obtenido unos resultados de AUC (Área Bajo la Curva, AUC, por sus siglas en inglés) de 0,965 (en el caso de *G. bermejoi*), lo que indica que es un resultado altamente fiable como para aceptar los modelos realizados con MaxEnt; a resumidas cuentas, MaxEnt es un programa estadístico muy útil que modeliza correctamente cuando los datos de partida son los ideales o suficientes. Sin embargo, en este caso MaxEnt no puede abarcar modelos del todo fiables (AUC de 0,5 para *L. tobarrense* y *L. admirabile*) debido a la localidad tan específica y reducida de ambos endemismos. De esta manera, si bien se puede emplear MaxEnt para modelizar un área de distribución potencial, en este caso resulta irrelevante por la alta especificidad local de ambos endemismos (de Luís *et al.*, 2018).

Por otro lado, para las predicciones futuras se han obtenido unos resultados que muestran un descenso notorio de ambas especies de cara al futuro, en intervalos de cinco y diez años. Estos descensos poblacionales tienen sentido si se atiende a la situación de ambos endemismos, pues no presentan ninguna figura de protección y tampoco están incluidas en listados de especies amenazadas, de tal modo que no presentan planes de gestión. Esto da lugar a que, en un modelo de proyección a futuro, haya ese descenso notorio en los individuos de ambos endemismos, pues los factores de amenaza seguirán incidiendo en la conservación de estas dos especies, dificultándola, y derivando en la posible extinción en el corto plazo de los individuos que conforman las poblaciones de *L. tobarrense* y *L. admirabile* en las inmediaciones de la Reserva Natural del Saladar de Cordovilla.

Realizar modelos predictivos con R es de gran utilidad ya que estos van a ser de ayuda a la hora de tomar decisiones relativas a la gestión de la especie que se esté estudiando en un determinado caso. En el caso de *Campanula pulla* L., una especie arbórea alpina, ha sido estudiada por Cotto *et al.*, (2017) con el fin de observar cómo esta especie, junto con el resto de especies objeto de ese estudio, responden frente a las condiciones de cambio climático. Para ello, han elaborado diferentes modelos predictivos en el programa estadístico R en un intervalo de 2010-2090 y 2090–2150. Básicamente, han observado que las especies muestran una respuesta lenta frente a esas condiciones cambiantes, dando lugar a una reducción de sus poblaciones. A grandes rasgos, en ambos casos hay especies bajo condiciones de amenaza que originan el descenso de sus poblaciones hasta niveles críticos en el tiempo. No contar con una legislación firme que abogue por la protección de especies amenazadas, como lo es el caso de *L. tobarrense* y *L. admirabile*, da lugar a que no se puedan tomar las medidas de gestión y conservación necesarias para evitar la pérdida de especies frente a factores de amenaza como las que atañe a estas especies, siendo el en

caso de *C. pulla* el cambio climático (Cotto *et al.*, 2017), y en el caso de *L. tobarrense* y *L. admirabile* los factores de amenaza anteriormente descritos. El programa estadístico R permite obtener este tipo de resultados a partir de una serie de datos fiables de partida; mientras que los modelos para *L. tobarrense* y *L. admirabile* se ha tenido en cuenta los censos realizados en el tiempo, para *C. pulla* se ha empleado el paquete de R BIOMOD para realizar los modelos predictivos. Tanto para un caso como para otro, se ha establecido una serie temporal de evolución de las poblaciones de las especies objeto de estudio, observándose el decrecimiento en los resultados obtenidos como consecuencia de los factores de amenaza que inciden sobre estas especies. Si bien para el caso de *C. pulla* no se deriva hacia la extinción a largo de plazo, en el caso de *L. tobarrense* y *L. admirabile* la extinción tiene lugar en el corto plazo, debido a la cantidad cada vez menor de individuos censados que derivan de los factores de amenaza incipientes.

5.4. Caracterización de los sustratos de *L. tobarrense* y *L. admirabile*.

Los sustratos en los que *L. tobarrense* y *L. admirabile* crecen presentan una serie de diferencias notables. Por un lado, los suelos de *L. tobarrense* presentan una afinidad menor hacia la salinidad, mientras que *L. admirabile* presenta unas concentraciones específicas mayores, de tal modo que es evidente que está más adaptada esta especie a condiciones salinas (*Tabla 5*). Pese a ser ambos endemismos especies halófitas, queda claro que *L. tobarrense* no tolera correctamente los altos niveles de salinidad que puede haber en su propio entorno, que es un saladar de interior, de manera que la especie se asienta hacia zonas en las que el nivel freático es más próximo a la superficie. Esta hipótesis se respalda según lo estipulado en Moreno *et al.* (2024b), donde el porcentaje de germinación de *L. tobarrense* disminuye enormemente conforme se incrementa la salinidad, sobre todo en los rangos de salinidad de 0-1,5% (Moreno *et al.*, 2024b).

A grandes rasgos, *L. tobarrense* presenta una tolerancia menor a la salinidad en contrapartida con *L. admirabile*, de tal manera que *L. tobarrense* crece en zonas en las que el nivel freático es próximo a la superficie, localizando a la especie en cuerpos de agua dentro de la Reserva Natural, tal y como es el caso de la zona de estudio. Además, esto implica que *L. admirabile* presenta una mayor tolerancia a la salinidad, y por extensión, mayores probabilidades de encontrarse más allá de la zona de estudio, y, de hecho, se han censado poblaciones de esta especie en la Lagua de Alboraj (Terrones *et al.*, 2016a).

5.5. Evaluación de la viabilidad de los bancos de semillas a lo largo del tiempo.

Disponer de una alta viabilidad en los bancos de semillas de *L. tobarrense* y *L. admirabile* es un aspecto relevante en la conservación de estos endemismos, debido a que se pueden conservar cantidades considerables de semillas de ambos endemismos,

procedentes de recolectas realizadas en campo o extraídas de recolectas de años anteriores (realizadas también en campo). Se destinarían principalmente en laboratorios y jardines botánicos especializados en la conservación de la diversidad vegetal (González, 2019; REDBAG, 2002). Esto será de ayuda en la conservación de las dos especies, al contar con un repertorio amplio de semillas que, en la mayoría de los casos, germinarán y se convertirán en individuos maduros preparados para ser trasplantados a la Reserva Natural.

Por otro lado, sería de utilidad incluir semillas de ambos de endemismos en La Red Española de Bancos de Germoplasma Vegetal (REDBAG, 2002), ya que incluye un protocolo de conservación de semillas que consiste en dos fases. En primer lugar, está la fase de procesado, donde se preparan las semillas de manera correcta y se registra la especie en una base de datos para posteriormente evaluar los requerimientos de conservación de las semillas en caso de que no haya información disponible relativa a su conservación. En segundo lugar, está la fase de almacenamiento, donde las semillas se envasan de manera correcta y se forman duplicados de seguridad, para a continuación almacenarlas en frío. Finalmente, se realizan pruebas de germinación para evaluar la viabilidad en el largo plazo y garantizar así la conservación de las semillas (REDBAG, 2002).

En términos generales, la alta viabilidad de los bancos de semillas de *L. tobarrense* y *L. admirabile* proporcionan una vía más para la conservación *ex situ*, pues los bancos naturales presentes en el Saladar de Cordovilla indican la elevada capacidad de letargo de las semillas de ambos endemismos; un caso similar es el de la especie protegida *Helianthemum polygonoides* Peinado, Mart. Parra, Alcaraz & Espuelas, pues presenta un banco de semillas abundante en el saladar de Cordovilla (alrededor de 800 semillas/m^2). De este modo, junto a su alta capacidad de colonización, la especie tiene posibilidades de recuperarse en el tiempo, lo que implica que la viabilidad de su banco de semillas ha de ser tenida en cuenta para su conservación y manejo (Moreno *et al.*, 2024a). Otro caso a tener en cuenta es el del género *Tamarix sp.*, pues Terrones *et al.*, 2016b han empleado diferentes métodos para observar cómo afectaban a la germinación de diferentes especies de *Tamarix* (i.e. *Tamarix boveana* Bunge). En este caso, las especies mostraban una germinación mayor a menores niveles de salinidad, habiendo un máximo de germinación en cultivos con agua destilada (alrededor de un 95%). No obstante, al contrario que los casos de *L. tobarrense* y *L. admirabile*, las especies de *Tamarix* empleadas en el estudio perdieron su viabilidad en apenas tres meses de haber almacenado sus semillas (Terrones *et al.*, 2016b). Esto indica que la viabilidad de las semillas de especies diferentes pero colindantes en ambientes similares o iguales varía en función de las características de letargo de las semillas de cada especie. Básicamente, mientras que las semillas de las especies de *Tamarix* no podrían ser conservadas *ex situ* por un largo tiempo (más de tres meses), las semillas de *L. tobarrense*

y *L. admirabile* pueden ser conservadas por largos períodos de tiempo, pues la base de datos empleada para el estudio de la viabilidad de sus semillas en este trabajo presenta semillas de 2016, 2018 y 2021. Así pues, las semillas de *L. tobarrense* y *L. admirabile* no solamente presentan con una elevada viabilidad en cultivos en laboratorio, sino que además son capaces de mantener esa elevada viabilidad en grandes lapsos de tiempo.

Además, si estas se incluyeran en jardines botánicos o estaciones biológicas, se podría desarrollar bancos de germoplasma que permitirían una mejor conservación de estos endemismos, además de poder combinarse con otras estrategias de conservación, tales como técnicas de restitución o revegetación por siembra directa. Sin embargo, cabe destacar que la producción *ex situ* de colecciones vivas de ambos endemismos, da lugar a que se desarrollen individuos fenotípicamente diferentes a los presentes en la Reserva Natural, de tal modo que podría acabar resultando inviable, sobre todo, en el caso de *L. tobarrense*. No obstante, se habría de tener en cuenta la germinación *ex situ* de plántulas de ambos endemismos replicando exactamente las condiciones de germinación que se dan en el Saladar de Cordovilla, empleando, además, sustrato procedente del propio saladar, y observar si se producen cambios fenotípicos significativos como para desestimar esta vía de conservación. Cabe añadir que, de todos modos, presentar una elevada viabilidad en los bancos de semillas es un hito importante y de utilidad para continuar investigando y mejorando la conservación de *L. tobarrense* y *L. admirabile*, de manera que sería adecuado tenerlo en cuenta para futuro.

5.6. Nuevas directrices de conservación.

Con el fin de mejorar el estado de conservación de las actuales poblaciones de *L. tobarrense* y *L. admirabile*, así como asegurar su protección y la de su hábitat, se proponen las siguientes directrices de conservación:

1. Es necesario incluir ambos endemismos en los listados nacionales de especies protegidas: Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y Catálogo Español de Especies Amenazadas, esto es, otorgarles a los endemismos figuras de protección que ayuden a mejorar la gestión, tanto del espacio natural que los alberga, así como de las especies.

2. La reintroducción y reforzamiento de poblaciones como actuaciones concretas y puntuales en el área actual y potencial puede ayudar a mejorar la situación de estas especies, ya que no posee un potente banco de semillas en el suelo y parece presentar problemas de regeneración.

3. Incluir semillas conservadas a largo plazo en el Banco de Germoplasma del Jardín Botánico de Castilla-La Mancha, así como guardar réplicas en otros bancos de germoplasma.

4. Puesto que no se ha conseguido establecer una colección viva (*obs. pers.*), una posible solución a largo plazo sería coger el pedión entero para intentar conservarla en el Jardín Botánico de Castilla-La Mancha, por si existieran interacciones micorrícicas a nivel de la raíz.

5. Es necesario continuar con el seguimiento demográfico a largo plazo y revisar el estado de estas frecuentemente, además de eliminar cualquier tipo de perturbación que siga actuando en el área de distribución de ambos endemismos.

6. Establecer vallados en los núcleos poblacionales más pequeños para evitar la pérdida de ejemplares, y señalizar la presencia de los endemismos con paneles/carteles informativos (ver *Anexo I*) que describan la especie y la importancia de su conservación.

7. Desarrollar programas de restauración ecológica para la eliminación de impactos negativos, así como programas de educación ambiental y divulgación focalizados en *L. tobarrense* y *L. admirabile* dirigidos a diferentes grupos sociales (i.e., población local, agricultores, ganaderos, cazadores, políticos, entre otros).

8. Designar áreas críticas que incluyan las poblaciones censadas dentro de la Reserva Natural para reducir amenazas antrópicas podría ser una opción viable, la elevada presión antrópica que acontece a estas poblaciones decrecería. De este modo, se permitiría la regeneración natural del hábitat, disminuyendo los factores de amenaza antrópicos incidentes directamente en la conservación de estos endemismos. Además, los jabalíes no podrían acceder a estas zonas, de tal manera que no afectarían a los endemismos.

9. Establecer Microrreservas de Flora en la zona de estudio, principalmente en el cauce (desde 38°32' 23" N, 1°37' 11" O hasta 38°32' 19" N, 1°37' 06" O), en función de los requerimientos ecológicos de *L. tobarrense* y *L. admirabile*. Se tendrá en cuenta la humedad del suelo, las propiedades físico-químicas del suelo, factores bioclimáticos, la biodiversidad edáfica y la biodiversidad del saladar para establecer los criterios básicos a tener en cuenta en la imposición de Microrreservas de Flora.

6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.

Las conclusiones de este TFG residen en los siguientes aspectos. En primer lugar, el área de distribución de ambos endemismos ha ido decreciendo en el tiempo debido a la persistencia de los factores de amenaza y la carencia de su inclusión en listados de especies amenazadas. En el caso de *L. admirabile*, se ha pasado de un censo de 560 individuos (junio) y 614 (octubre) en 2016, a 96 individuos (junio) y 169 (octubre) en 2024, y, 2375 individuos en marzo de 2025. Por otro lado, en el caso de *L. tobarrense*, se ha pasado de un censo de unos 52 individuos en octubre de 2016, a 19 individuos en 2024, y, 89 en marzo de 2025. En segundo lugar, si bien algunas de las amenazas que se acontecen sobre la Reserva Natural han disminuido, siendo este el caso del sobrepastoreo, lo cierto es que la gran mayoría aún perduran e incluso algunas han incrementado en el tiempo, como el caso de la agricultura intensiva. En tercer lugar, los resultados estadísticos expresan información relevante para el estudio de ambos endemismos; por un lado, MaxEnt confirma la localidad reducida de, al menos, *L. tobarrense* en su distribución potencial, lo que indica que no hay otra parte en toda la ZEC más allá del Saladar de Cordovilla en el que la especie surja. Por otro lado, R brinda información a futuro sobre un descenso acelerado de ambos endemismos en el corto y medio plazo. Esto podría responder a la carencia de presentar figuras de protección. En cuarto lugar, la caracterización edáfica de sustratos sobre los que crecen *L. tobarrense* y *L. admirabile*, indica que las muestras de suelos recolectadas de ambos endemismos presentan diferencias notorias; esto es debido a la mayor concentración de sales presente en los sustratos de *L. admirabile* en detrimento a los de *L. tobarrense*. No obstante, estos últimos presentan una conductividad eléctrica menor y humedad superior a los de *L. admirabile*, lo que implica que *L. tobarrense* no tolera como *L. admirabile* la salinidad, creciendo en zonas con la capa freática cercana a la superficie. Por último, la viabilidad del banco de semillas de ambos endemismos ha demostrado ser eficaz y resistir en el tiempo con un alto porcentaje de germinación de individuos; concretamente se ha obtenido una viabilidad de los bancos de semillas del 77% para *L. tobarrense*, mientras que para *L. admirabile* el porcentaje de viabilidad es del 86% en 2025. Por otra parte, los porcentajes de viabilidad de años anteriores datan en 92% para *L. tobarrense* y 91% para *L. admirabile* en 2016, 84% para *L. tobarrense*, y para *L. admirabile* 91% en 2018, 80% para *L. tobarrense*, y para *L. admirabile* 85% en 2021. Por último, la variabilidad de las semillas en 2024 ha sido del 78% para *L. tobarrense*, y del 84% para *L. admirabile* con una desviación típica baja. A grandes rasgos, las conclusiones generales que se deben tener en cuenta son que las manchas vegetales de ambos endemismos han ido decreciendo en el tiempo como consecuencia de la persistencia de factores de amenaza antrópicos y la carencia de Planes de Recuperación, figuras de protección y estrategias de gestión para estas dos especies.

Por otro lado, si bien la caracterización edáfica para ambos endemismos, así como contar con una alta viabilidad en sus bancos de semillas puede ayudar a gestionar mejor a estas especies, el nivel de amenaza al que hacen frente acaba da lugar a que ello sea insuficiente y poco viable en el medio y largo plazo. Finalmente, la predicción realizada con R muestra cómo ambos endemismos se encaminan hacia una pérdida total de sus poblaciones para el corto y medio plazo, por lo que, en caso de no incluir a estas especies en listados de especies amenazadas, otorgarles figuras de protección, y poner en marcha este Plan de Recuperación, junto a demás estrategias de gestión y manejo, es probable que ambas especies acaben por extinguirse en el corto y medio plazo.

En cuanto a la proyección futura, lo ideal sería inicialmente ampliar el muestreo a toda la ZEC y censar a la mayor cantidad posible de individuos de *L. admirabile* como sea posible, para así ampliar el rango de la zona de estudio y también posibles nuevos datos que incidan en la conservación de la especie. En segundo lugar, deberían desarrollarse experimentos de germinación en condiciones de cambio climático, pues es una variable que puede estar influyendo en el estado de conservación de estos endemismos. Por último, se debería tener en cuenta técnicas de micropropagación y crecimiento vegetativo *in vitro*, desarrollando estas prácticas en centros de investigación cercanos, pues esta estrategia de conservación no se ha aplicado aún para estos endemismos, y sería interesante ver el grado de efectividad que tendría. Ampliar la zona de estudio permitiría obtener una cantidad de información mayor, pues podría haber aspectos que estén incidiendo de maneras muy diferentes a las poblaciones de *L. admirabile* repartidas por la ZEC, y es importante conocer a detalle todos aquellos factores que puedan suponer una amenaza para la conservación de este endemismo, además de estar la posibilidad de encontrar nuevos enclaves de poblaciones de *L. admirabile* en las inmediaciones de la ZEC. Desarrollar experimentos de germinación y cambio climático es una tarea que debería ser obligatoria para la elaboración de cada Plan de Recuperación, debido a que las especies hacen frente a la CAG, y es crucial obtener información acerca de las tolerancias y debilidades que presentan ambos endemismos ante el actual contexto de cambio climático, pues podría variar enormemente tanto el diagnóstico del estado de conservación de los endemismos, así como las medidas necesarias para su gestión y conservación. A grandes rasgos, los experimentos consistirían en hacer germinar semillas de ambos endemismos en sustratos tanto propios del saladar, así como sustratos de turba y vermiculita 1:3. Posteriormente a su germinación, se escogería a la mitad de las plántulas germinadas para someterlas a condiciones de sequía a raíz de colocarles un envase de plástico que las cubra por completo, dejando libre la parte de arriba del envase. Con ello se podría observar el nivel de afección del cambio climático sobre estas especies, además de poder observar que fenotipo adoptaría bajo esas condiciones de estrés.

Por último, una de las técnicas de la conservación *ex situ* más interesantes es la micropropagación, debido a que permite a una especie vegetal crecer desde un tejido hasta conformar un cuerpo vegetal mayor; esta técnica no se ha empleado nunca con estas dos especies, de manera que resulta interesante observar qué resultados cabría esperar. Por un lado, es probable que parte de las plántulas que se obtengan no logren sobrevivir al ser plantadas en sustratos, debido a no haber germinado en un sustrato, sino en una solución. No obstante, cabe la posibilidad de que pueda haber una tasa de éxito relativamente elevada debido a la adaptación de estas plántulas al sustrato del saladar. Además, se harían crecer varios individuos de tal manera que se vayan reduciendo cada vez más los errores que dan lugar a que las plántulas no se terminen de adaptar a sus sustratos; de ese modo, las plántulas serían capaces de desarrollarse de forma segura en laboratorios especializados y los individuos podrán ser trasplantados a nuevos sustratos dentro del saladar o de cualquier otro lugar de la ZEC. De esta manera, se estaría comprobando la supuesta efectividad de la micropropagación, y se tendría en cuenta para futuras revisiones del Plan de Recuperación de estos endemismos, además de que no se descartaría por completo la ayuda que brindaría la conservación *ex situ* a este caso.

7. BIBLIOGRAFÍA

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

Álvarez-Rogel, J., Jiménez-Cárceles, F. J., Roca, M. J. & 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.

Burt, R. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. United States Department of Agriculture (USDA) - Natural Resources Conservation Service (NRCS), Lincoln.

Cotto, O., Wessely, J., Georges, D., Klonner, G., Schmid, M., Dullinger, S., Thullier, W. & Guillaume, F. (2017). A dynamic eco-evolutionary model predicts slow response of alpine plants to climate warming. *Nature Communications*, *8*(1), 15399.

Copete, M. A., Herranz, J. M. & Ferrandis, P. (2003). Ficha roja de *Helianthemum polygonoides*. Peinado, Mart. Parras, Alcaraz & Espuelas. En *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada en España. Táxones Prioritarios*. Bañares, A., Blanca, G., Güemes, J., Moreno, J. C. & Ortiz, S. (eds.), pp. 286-287, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Cirujano, S. (1989). Los Saladares de Cordovilla (Tobarra, Albacete). Caracterización e importancia. *Al-Basit*, *25*, 209-217.

Cubero, R. (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.

Crespo, M. B. & Lledó, M. D. (1998). *El género* Limonium *Mill. (Plumbaginaceae) en la Comunidad Valenciana: taxonomía y conservación*. Colección Biodiversidad 3. Generalitat Valenciana, Conselleria de Medio Ambiente, Valencia, 116 pp.

de Luis, M., Bartolomé, C., García Cardo, Ó. & Álvarez-Jiménez, J. (2018). *Gypsophila bermejoi* G. López: A possible case of speciation repressed by bioclimatic factors. *PLoS ONE* 13(1), e0190536.

Di Sacco, A., Way, M., León Lobos, P. & Suarez Ballesteros, C. I. (2018). *Manual de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres*. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi.

Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (OJ L 206 22.07.1992, p. 7, ELI: http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj)

D.O.C.M. (1998). Decreto 33/1998, de 05/05/1998, por el que crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha. DOCM, 22, de 15/05/1998.

D.O.C.M. (2001). Decreto 200/2001, de 06/11/2001, por el que se modifica el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-la Mancha. DOCM, 119, de 13/11/2001.

Erben, M. (1993). *Limonium* Mill. En Castroviejo, S., Aedo, C., Cirujano, S., Laínz, M., Montserrat, P., Morales, R., Muñoz Garmendia, F., Navarro, C., Paiva, J. & Soriano, C. (Eds.) *Flora iberica*, vol. 3. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid, pp. 2–143.

FAO & IIASA. (2023). *Harmonized World Soil Database Version 2.0*. Rome and Laxenburg. https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v20/en/

Ferrandis P., Copete, M. A., Martínez-Lirola, M. J., Duro, E. M. & Herranz, J. M. (2004). *Inventario, cartografía de distribución y evaluación del estado de conservación de la especie en peligro de extinción* Helianthemum polygonoides *Peinado, Mart. Parras, Alcaraz &*

Espuelas. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Ferrandis, P., Molina, E., Martínez-Duro, E. & Herranz, J. M. (2010). *Revisión del estado de conservación de la especie vegetal en peligro de extinción* Helianthemum polygonoides*: seguimiento del Plan de Conservación*. Peinado, Mart. Parras, Alcaraz y Espuelas. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Ferrandis, P., Molina, E., López-Donate, J. A. & Martínez-Duro, E. (2011). Ampliación del área de ocupación real de *Helianthemum polygonoides* Peinado, Mart. Parras, Alcaraz & Espuelas, una fanerógama en "*Peligro Crítico de Extinción*". Instituto de Estudios Albacetenses. *SABUCO, 8,* 225-232.

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology, 37*(12), 4302-4315.

González-Alcaraz, M. N., Jiménez-Cárceles, F. J., Álvarez, 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, V. (2019). ¿Para qué sirven los bancos de semillas? *Muy Interesante*. https://www.muyinteresante.es/naturaleza/29218.html

Harris, D. C. (2003). *Quantitative chemical analysis,* 6th ed. W.H. Freeman, New York.

Herranz, J. M., Ferrandis, P., Martínez-Sánchez, J. J. & de las Heras, J. (1999). *Propuesta del Plan de Recuperación de* Helianthemum polygonoides *Peinado, Mart. Parras, Alcaraz & Espuelas*. En Castilla-La Mancha. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Hyndman, R., Athanasopoulos, G., Bergmeir, C., Caceres, G., Chhay, L., O'Hara-Wild, M., Petropoulos, F., Razbash, S., Wang, E. & Yasmeen, F. (2025). *forecast: Forecasting functions for time series and linear models*. R package version 8.24.0. https://pkg.robjhyndman.com/forecast/

IPCC (2021). Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R.,& Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IUCN (2012). *IUCN Red List Categories and Criteria*, v.3.1. Second edition. IUCN, Gland (Switzerland) & Cambridge (UK), iv + 32 pp.

Ley 9/1999, de 26 de mayo, de Conservación de la Naturaleza. *Boletín Oficial del Estado*, 28 del 7 de 1999. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. https://www.boe.es/eli/es-cm/l/1999/05/26/9/con

Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado*, 14 del 12 de 2007. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. https://www.boe.es/eli/es/l/2007/12/13/42/con

Molina, J. C., Pertínez, C. & De la Cruz, M. T. (2001). Datos sobre la relación suelo-vegetación en los saladares de Cordovilla (Albacete, España). *SABUCO*, *1,* 217-232.

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

Moreno, J., Terrones, A., Alonso, M. A., Juan, A. & 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., Terrones, A. & Juan, A. (2022). Germination patterns along a salinity gradient of closely-related halophytes in sympatry. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *264*, 107690.

Moreno J., Cuesta M. J., Torres Martínez, P. & Ferrandis, P. (2024a). New threats for a protected plant: the need to review and update recovery plans of endangered species. *Mediterranean Botany*, *45*(1), e90361.

Moreno, J., Terrones, A. & Juan, A. (2024b). Influence of abiotic factors on the germination of an endemic sea lavender: first steps to shape local assemblage. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108815.

Moreno, J. C., coord. (2008). *Lista Roja 2008 de la flora vascular española.* Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, y Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas), Madrid, 86 pp

Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*, 231–259.

Phillips, S. J., Dudík, M. & Schapire, R. E. (2025). [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions, v.3.4.4. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/

PNOA (2021). CC-BY 4.0 Instituto Geográfico Nacional, O.A. Centro Nacional de Información Geográfica. www.ign.es

QGIS Development Team (2025). QGIS Geographic Information System, v.3.40. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing, v. 4.4.2. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *Boletín Oficial del Estado*, 23 del 2 de 2011. Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/02/04/139/con

Red Española de Bancos de Semillas (REDBAG) (2002). (s.f.). *Procedimientos utilizados en los bancos de REDBAG*. http://www.redbag.es/5procedimientos.htm

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 Geobot*. *17*, 5–436.

Sagredo, M., Dólera, A. & Lorente, J. C. (2019). *Atlas de la Comarca Campos de Hellín*. Asociación Campos de Hellín.

Terrones, A., Moreno, J. & Alonso, M. A. (2016a). *El género* Limonium *en el LIC" Saladares de Cordovilla y Agramón y Laguna de Alboraj"*. En *Actas de las III Jornadas sobre el Medio Natural Albacetense*, Instituto de Estudios Albacetenses" Don Juan Manuel", Albacete, pp. 82-94.

Terrones, A., Moreno, J., Agulló, J. C., Villar, J. L., Vicente, A., Alonso, M. A. & Juan, A. (2016b). Influence of salinity and storage on germination of *Tamarix* taxa with contrasted ecological requirements. *Journal of Arid Environments*, *135*, 17-21.

Valdés, A., González, J.L. & Molina, R. (1993). *Flora y Vegetación de los Saladares de Cordovilla y Agramón (SE de Albacete)*. Ed. Instituto de Estudios Albacetenses. Diputación de Albacete.

-ANEXOS-

Biblioteca
UNIVERSITAS Miguel Hernández

Anexo I.

Mapas del área de distribución de *L. tobarrense* y *L. admirabile* en Cordovilla (2016-2025).

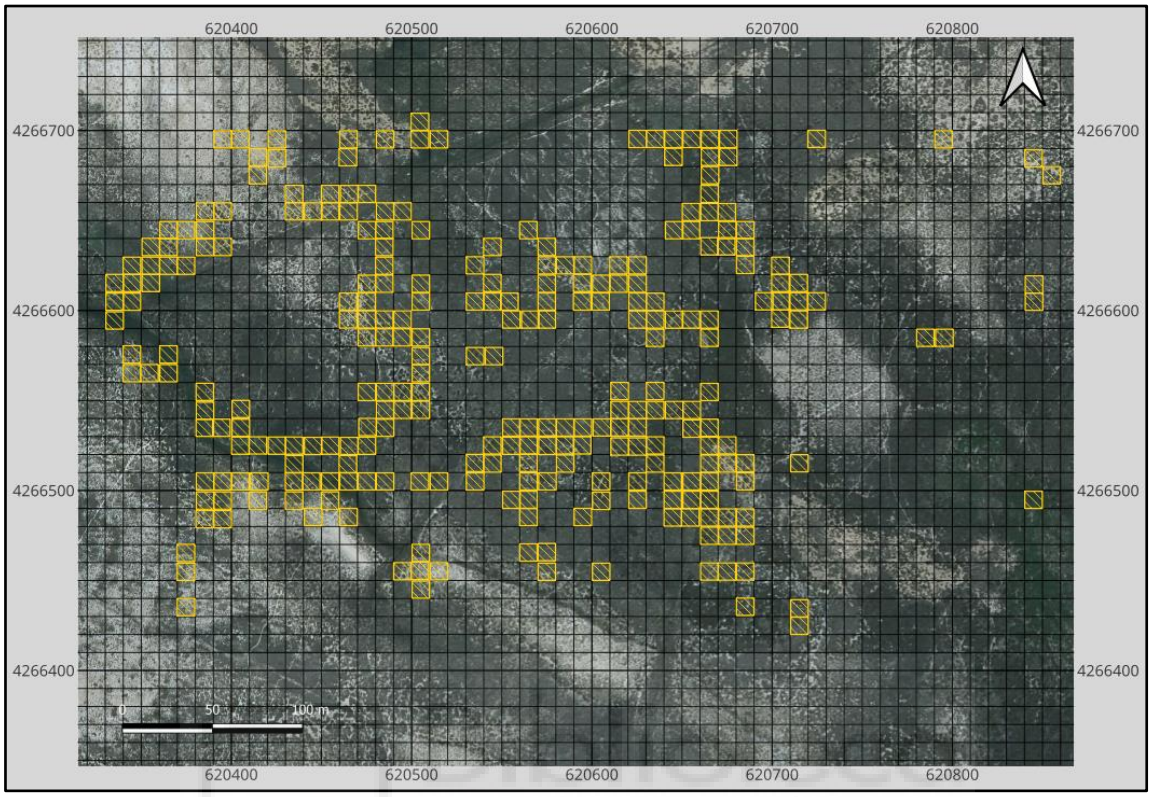

Figura A. Mapa de distribución de *L. admirabile* en junio de 2016.

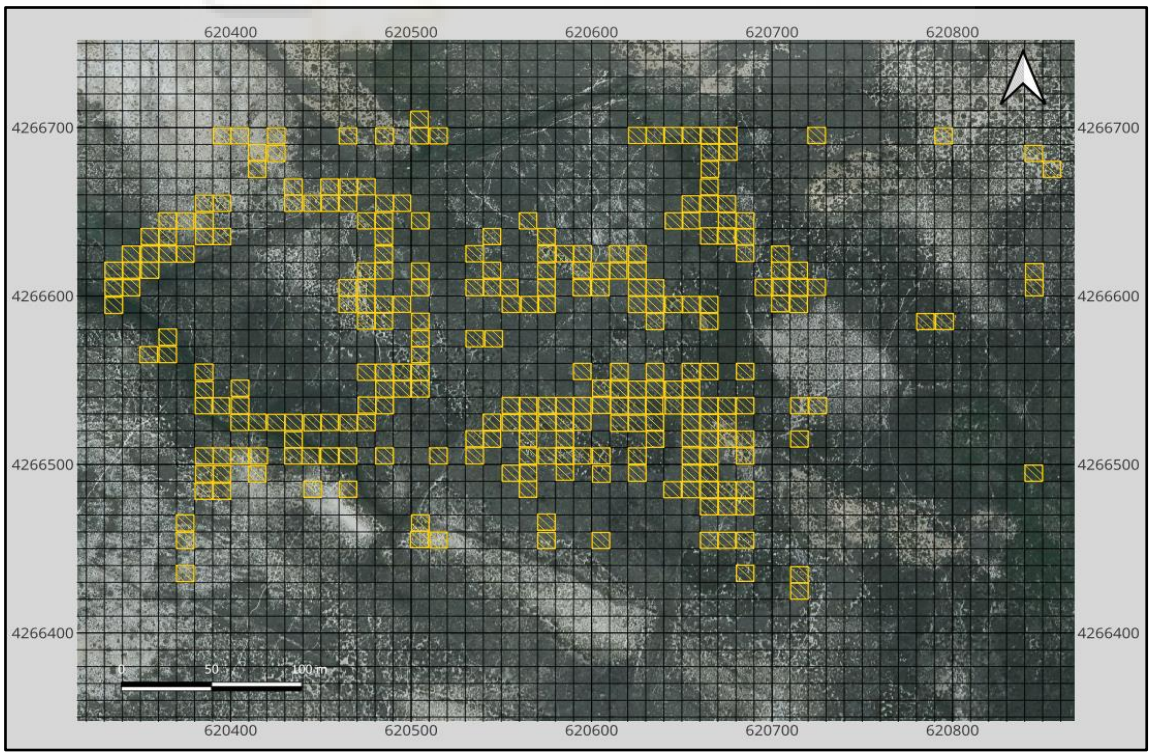

Figura B. Mapa de distribución de *L. admirabile* en octubre de 2016.

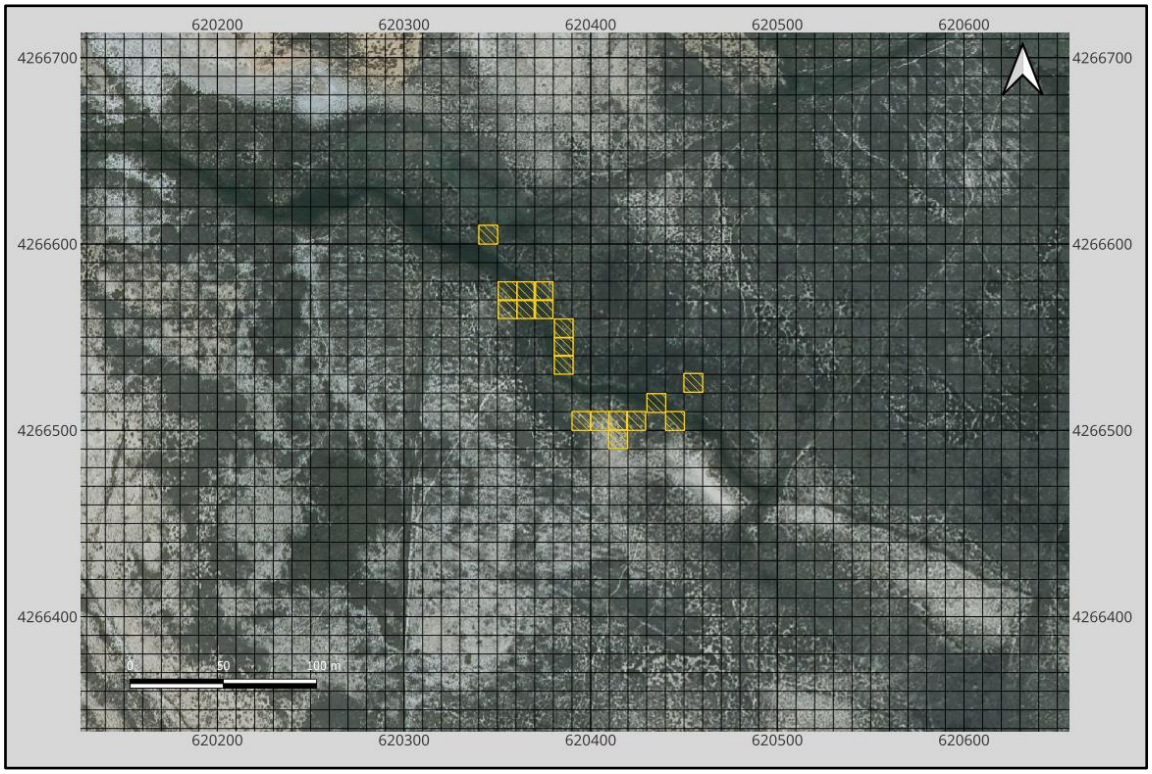

Figura C. Mapa de distribución de *L. tobarrense* en junio de 2016.

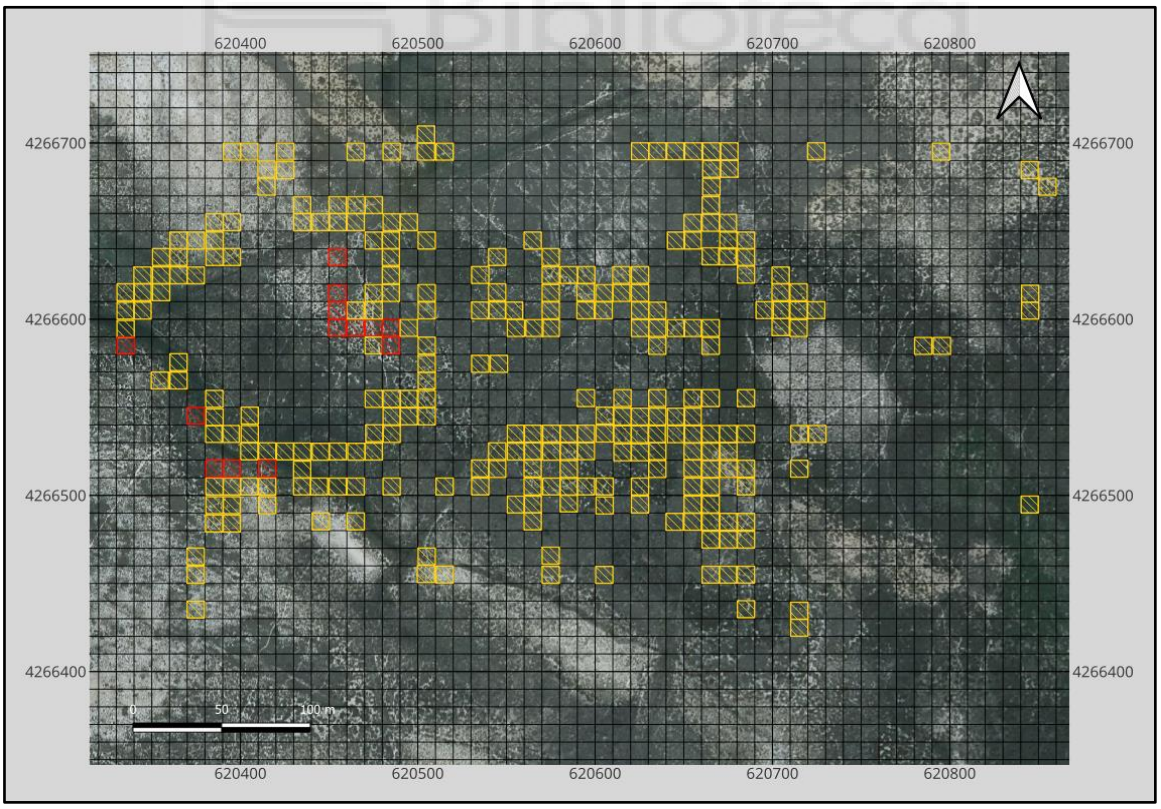

Figura D. Mapa de distribución de *L. admirabile* y *L. tobarrense* en octubre de 2016. Amarillo: *L. admirabile*; Rojo: *L. tobarrense*.

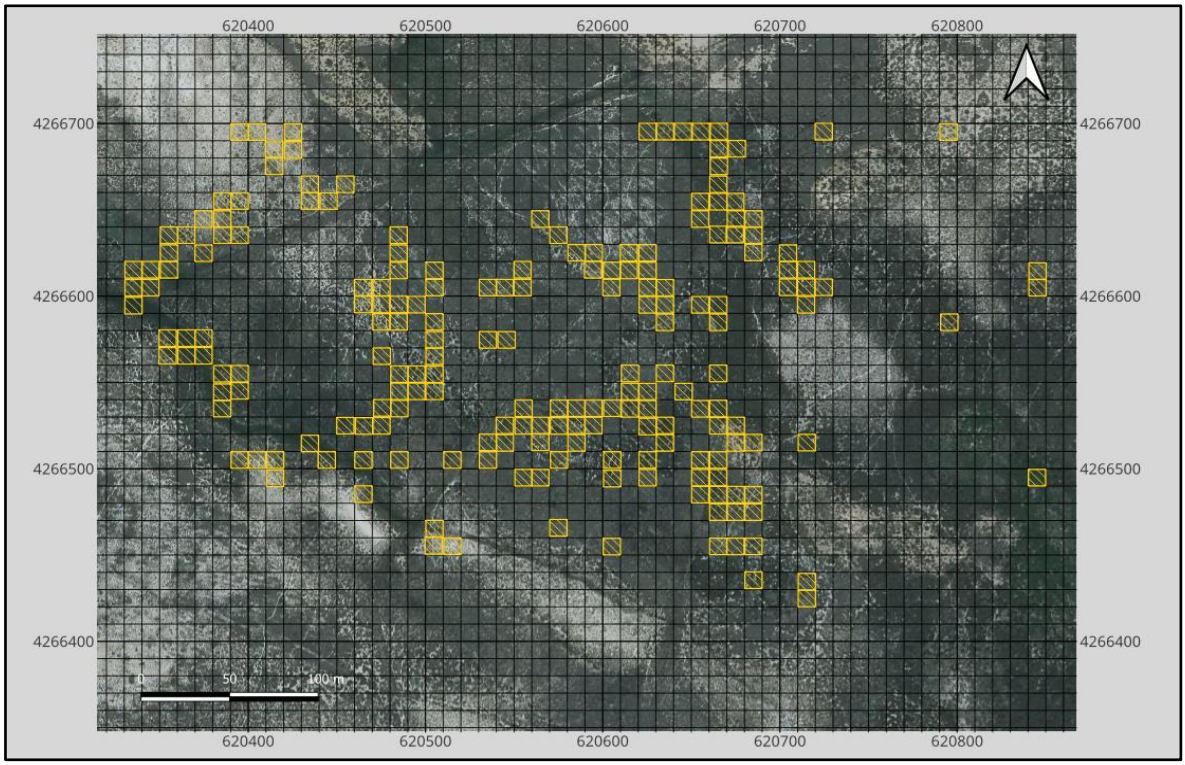

Figura E. Mapa de distribución de *L. admirabile* en junio de 2018.

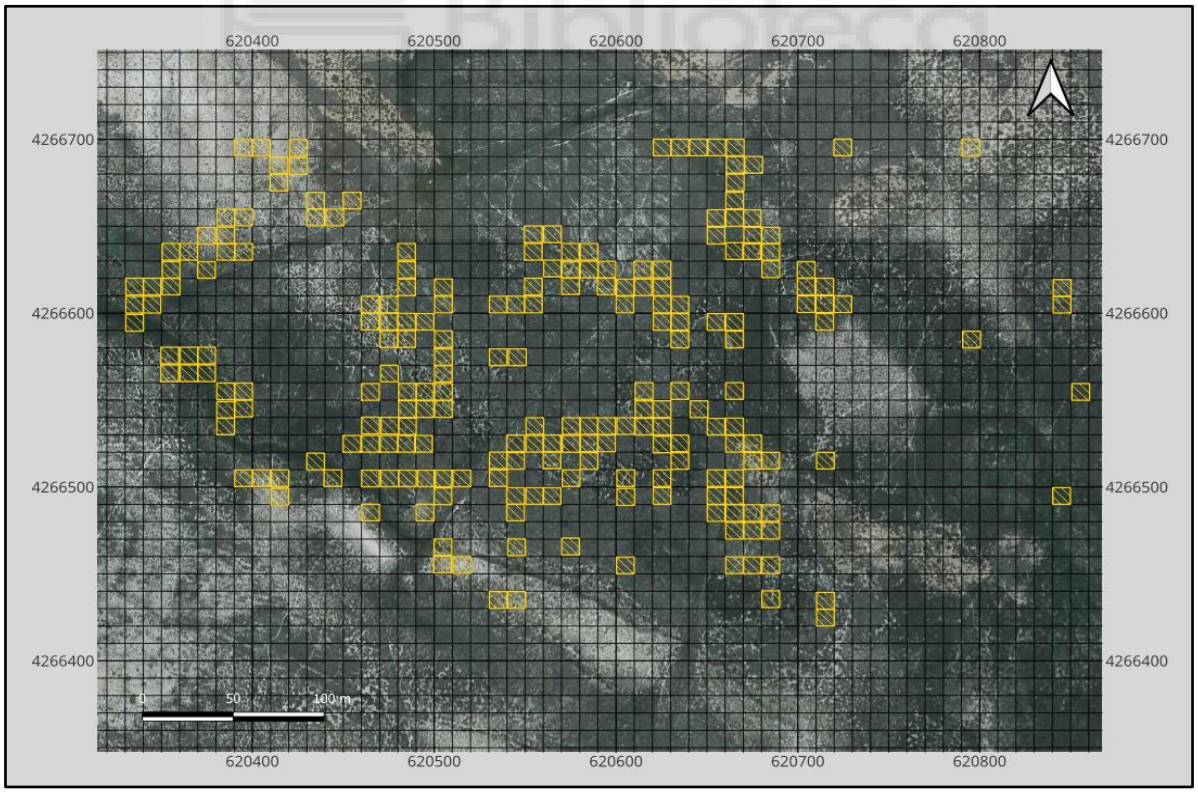

Figura F. Mapa de distribución de *L. admirabile* en octubre de 2018.

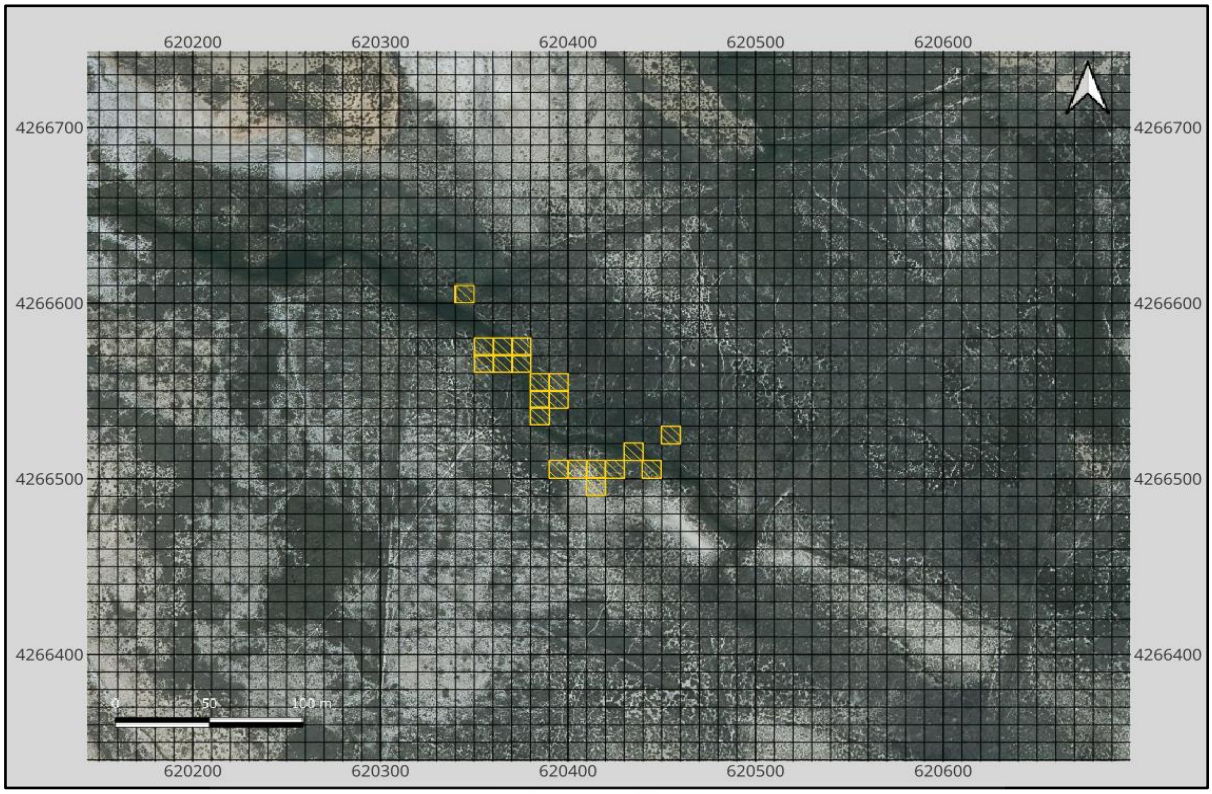

Figura G. Mapa de distribución de *L. tobarrense* en octubre de 2018.

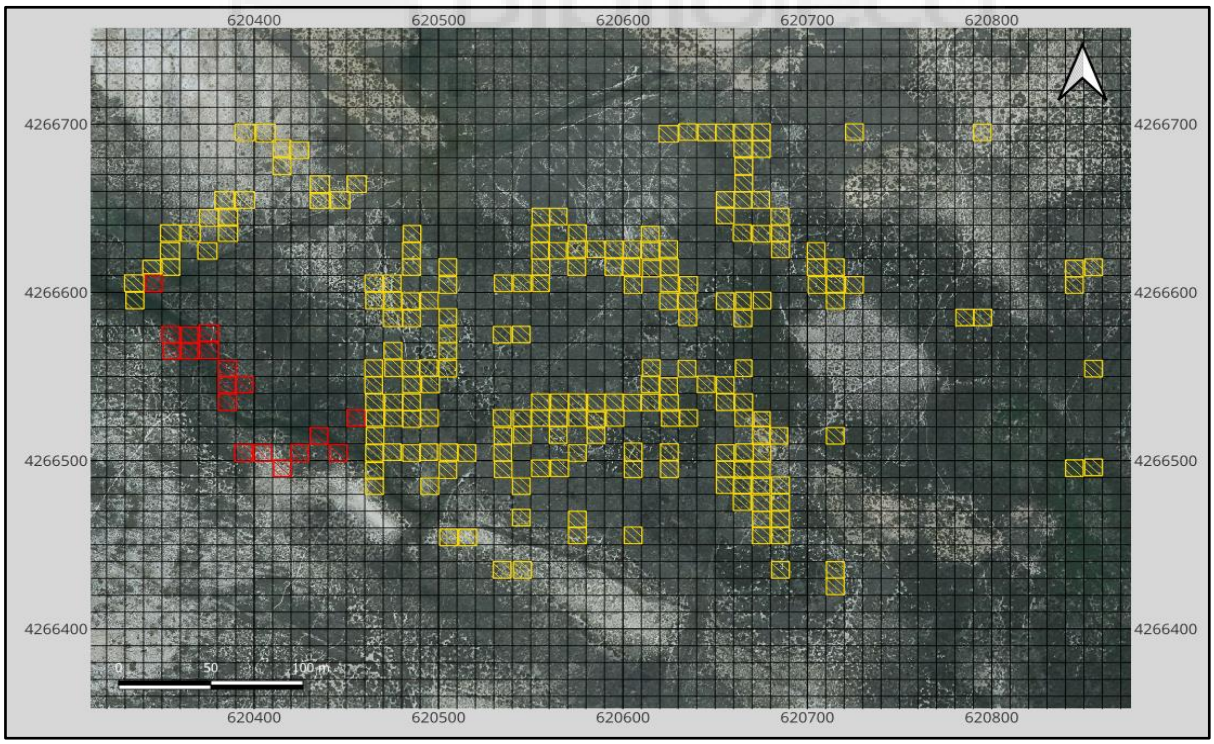

Figura H. Mapa de distribución de *L. admirabile y L. tobarrense* en octubre de 2018. Amarillo: *L. admirabile*; Rojo: *L. tobarrense*.

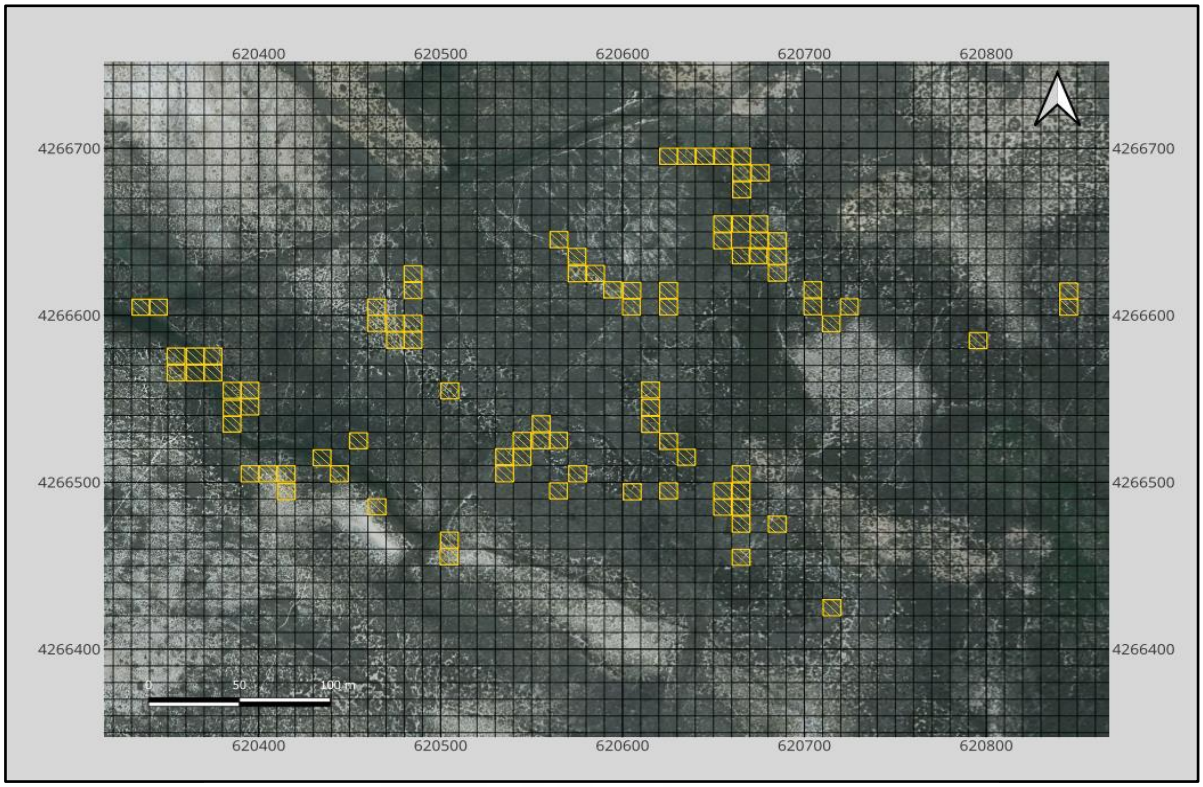

Figura I. Mapa de distribución de *L. admirabile* em junio de 2021.

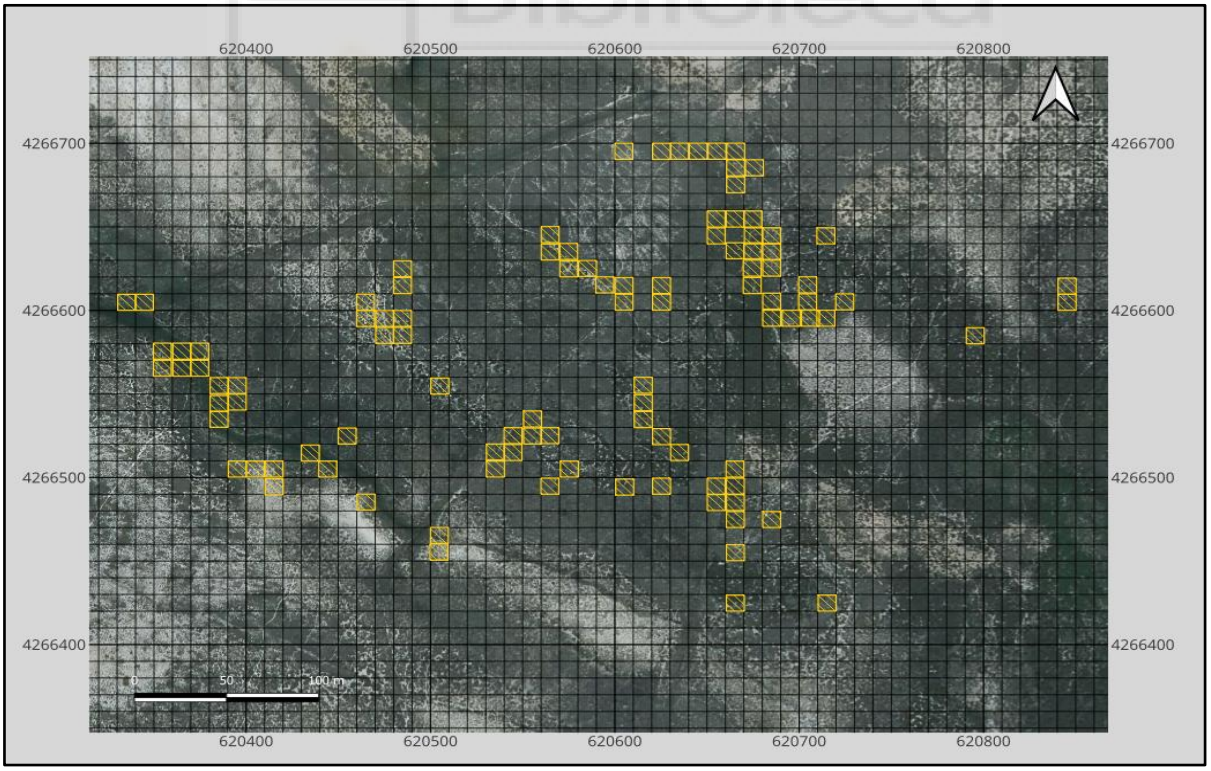

Figura J. Mapa de distribución de *L. admirabile* en octubre de 2021.

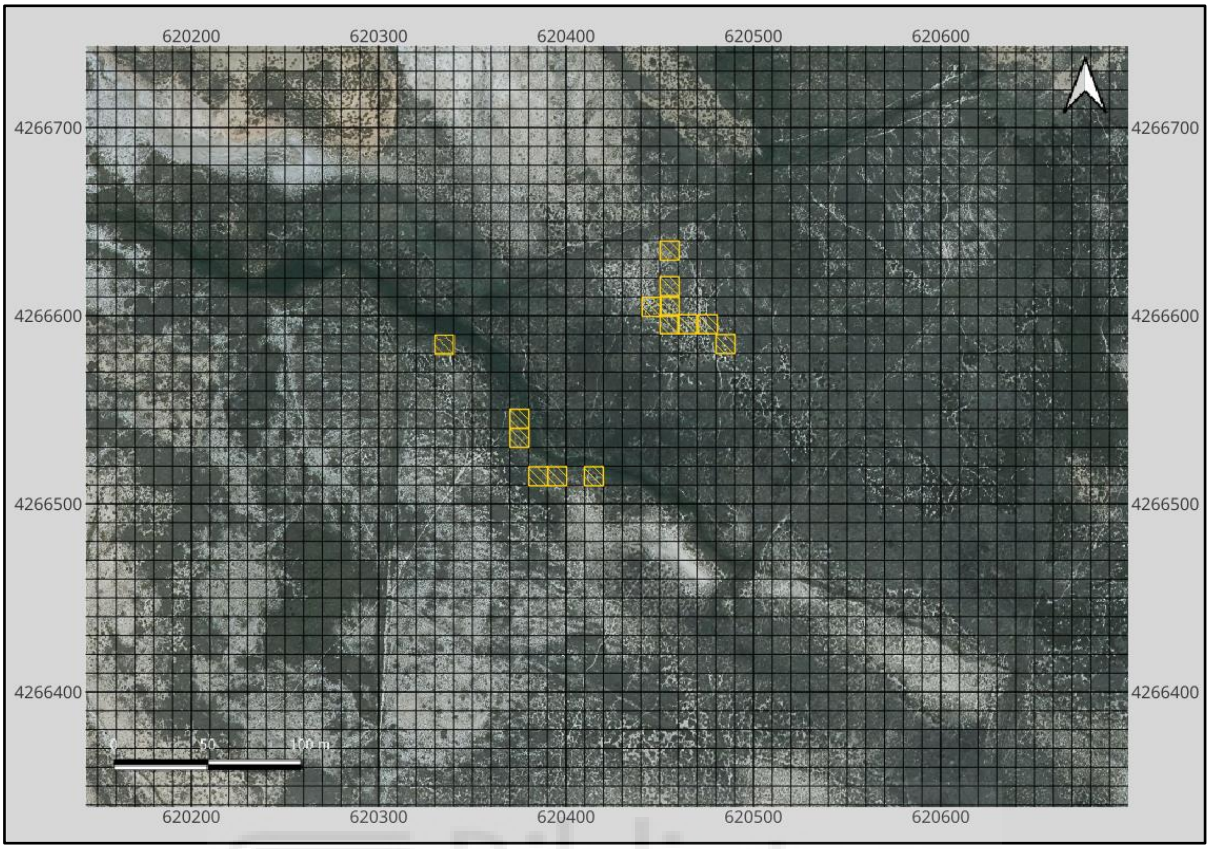

Figura K. Mapa de distribución de *L. tobarrense* en octubre de 2021.

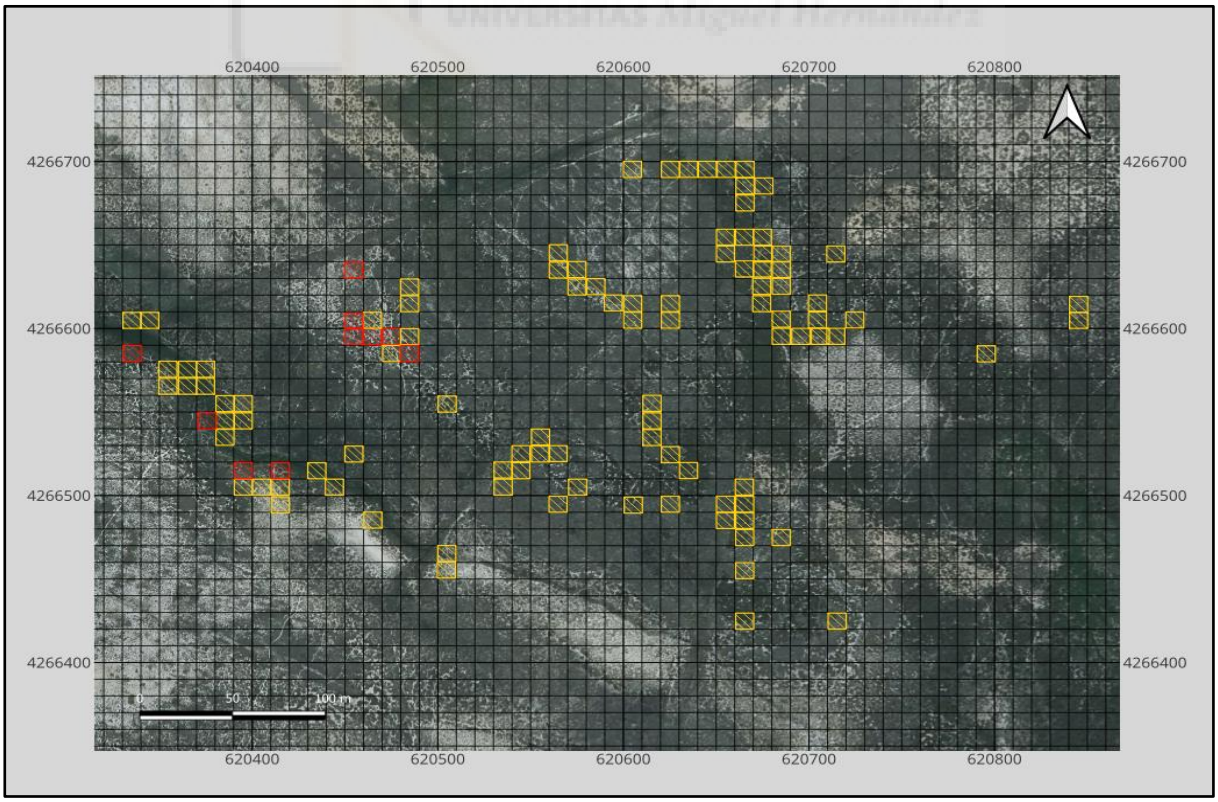

Figura M. Mapa de distribución de *L. admirabile* y *L. tobarrense* en octubre de 2021. Amarillo*: L. admirabile*; Rojo: *L. tobarrense*.

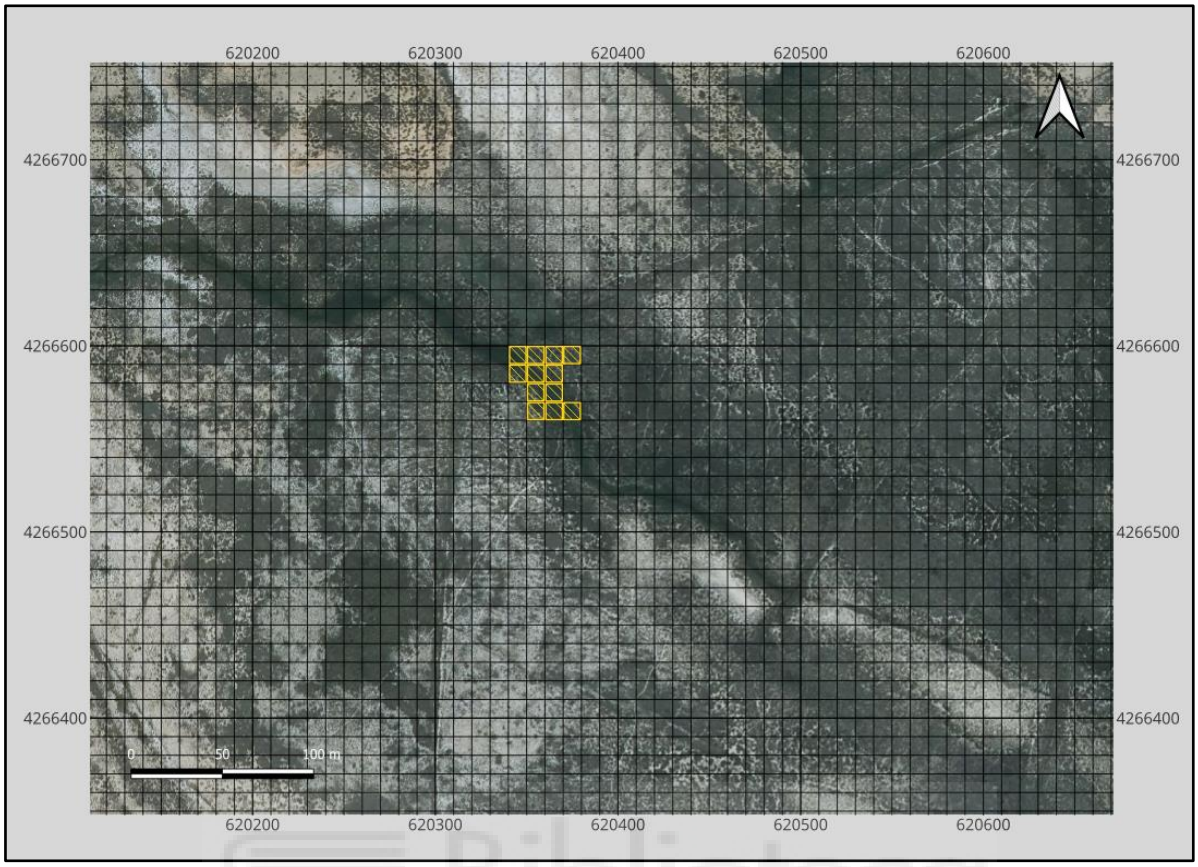

Figura N. Mapa de distribución de *L. admirabile* en junio de 2024.

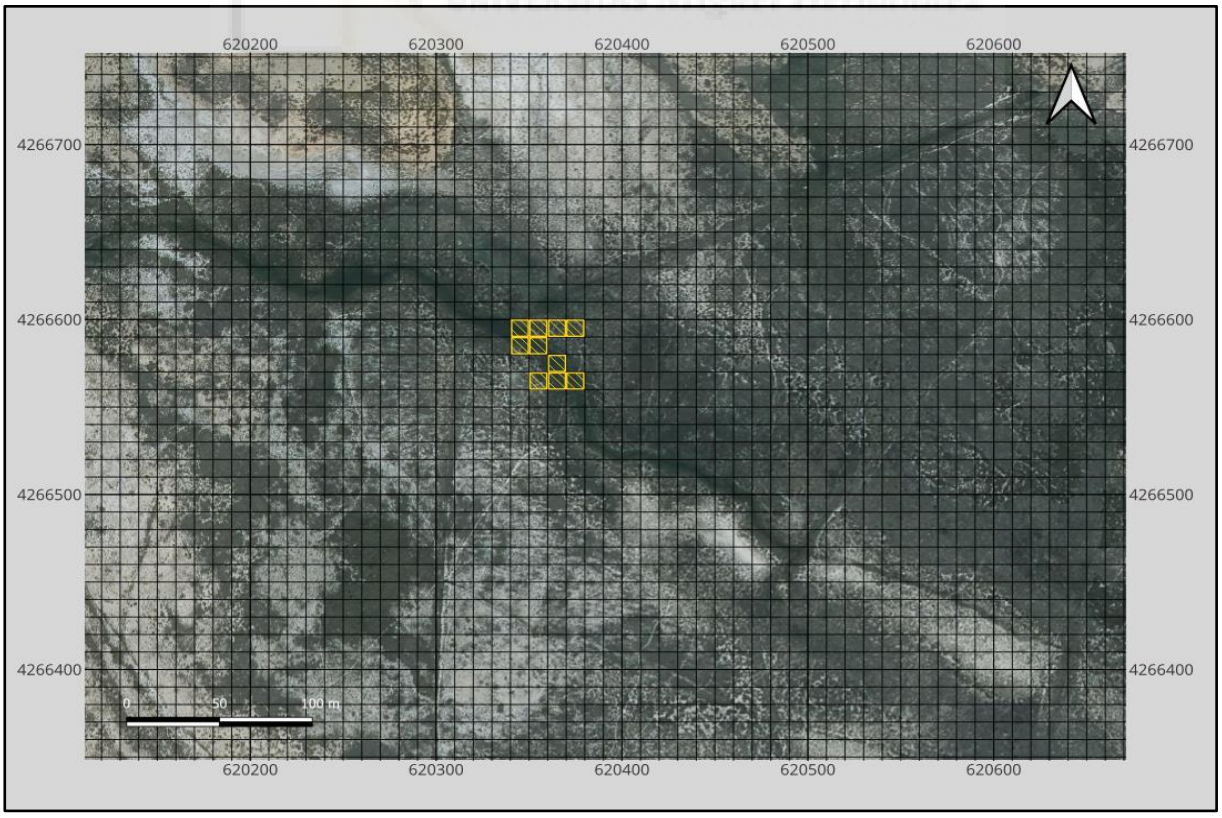

Figura L. Mapa de distribución de *L. admirabile en* octubre de 2024.

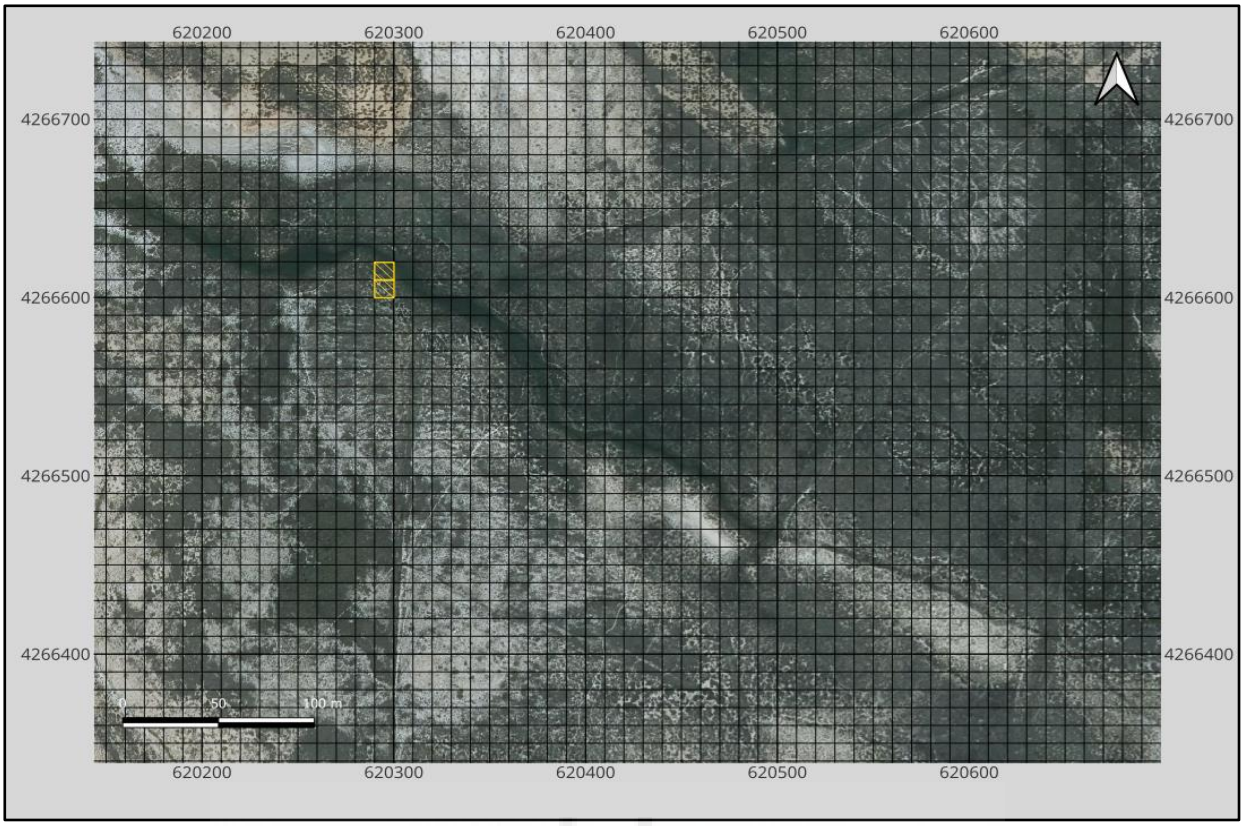

Figura O. Mapa de distribución de *L. tobarrense* en octubre de 2024.

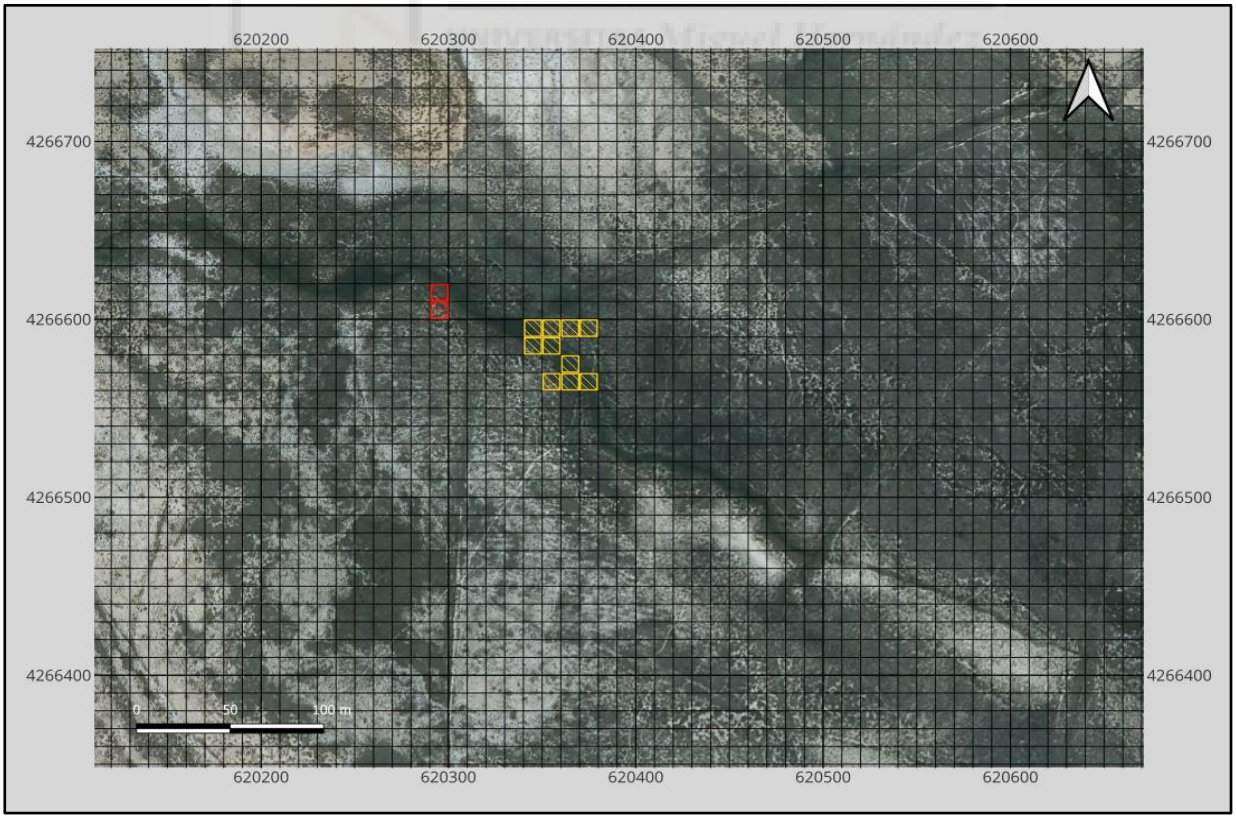

Figura P. Mapa de distribución de *L. admirabile y L. tobarrense* en octubre de 2024. Amarillo: *L. admirabile*; Rojo: *L. tobarrense*.

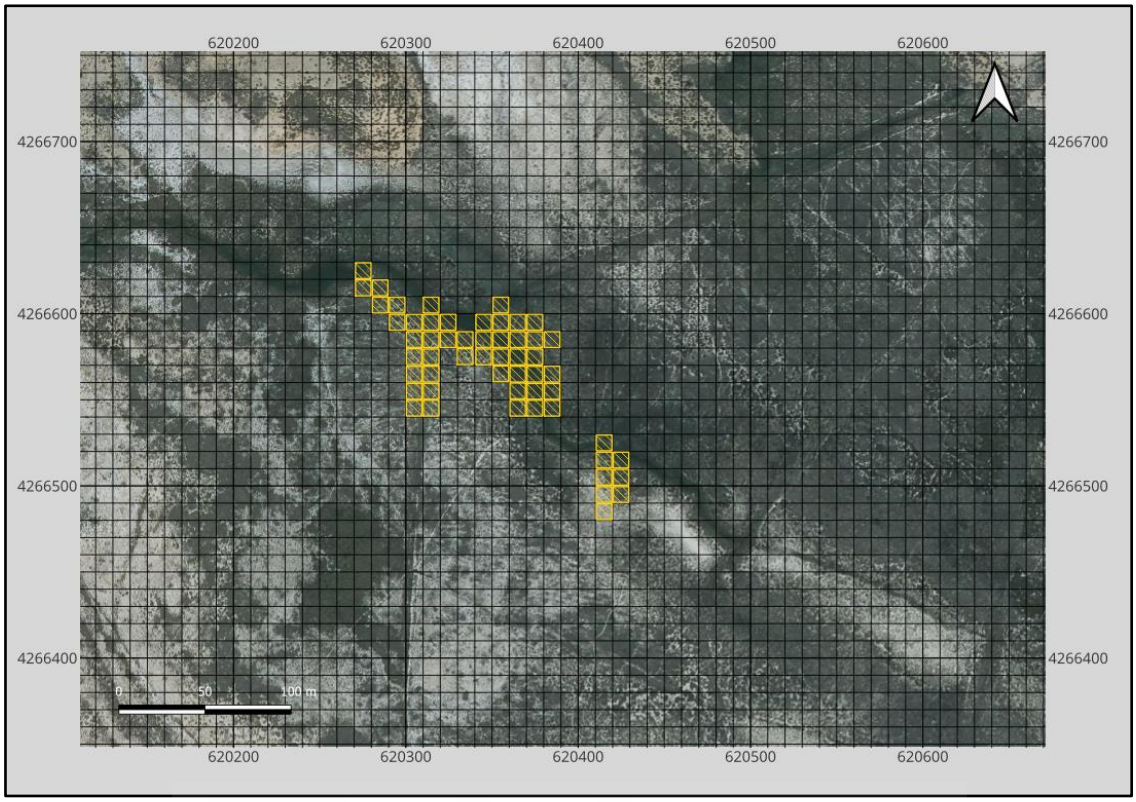

Figura Q. Mapa de distribución de *L. admirabile* en marzo de 2025.

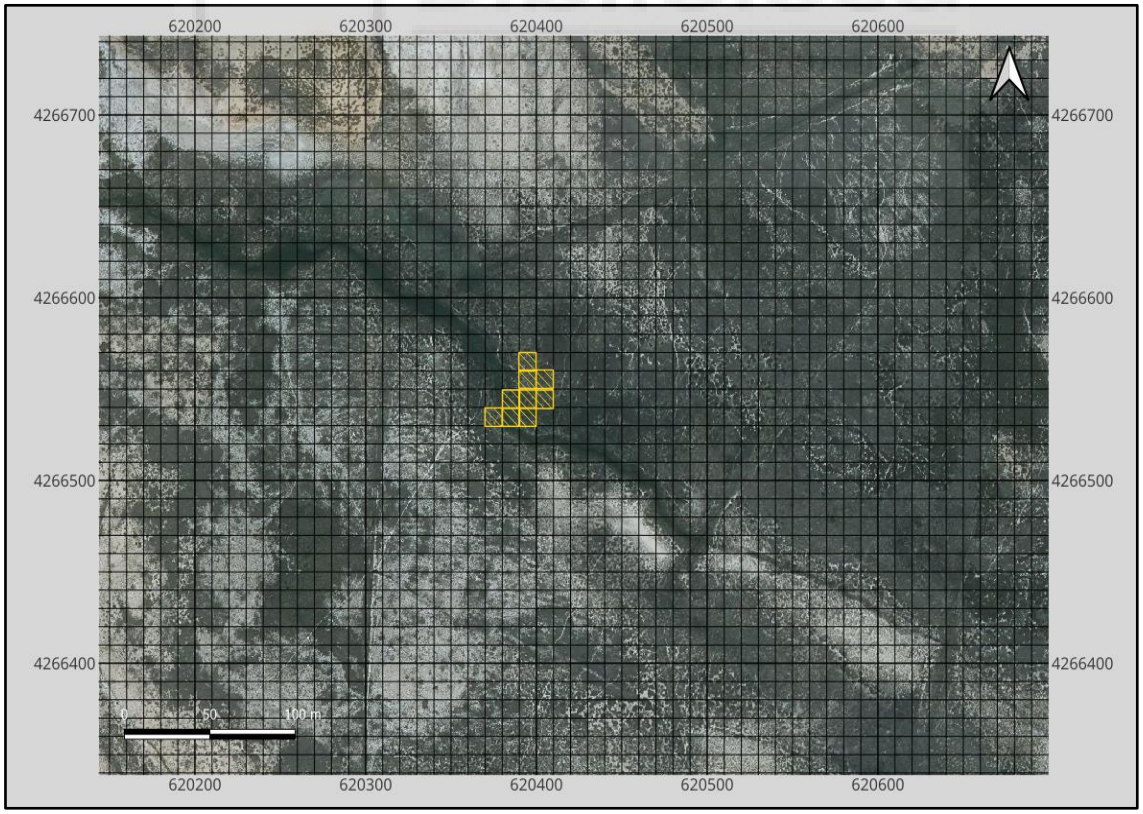

Figura R. Mapa de distribución de *L. tobarrense* en marzo de 2025.

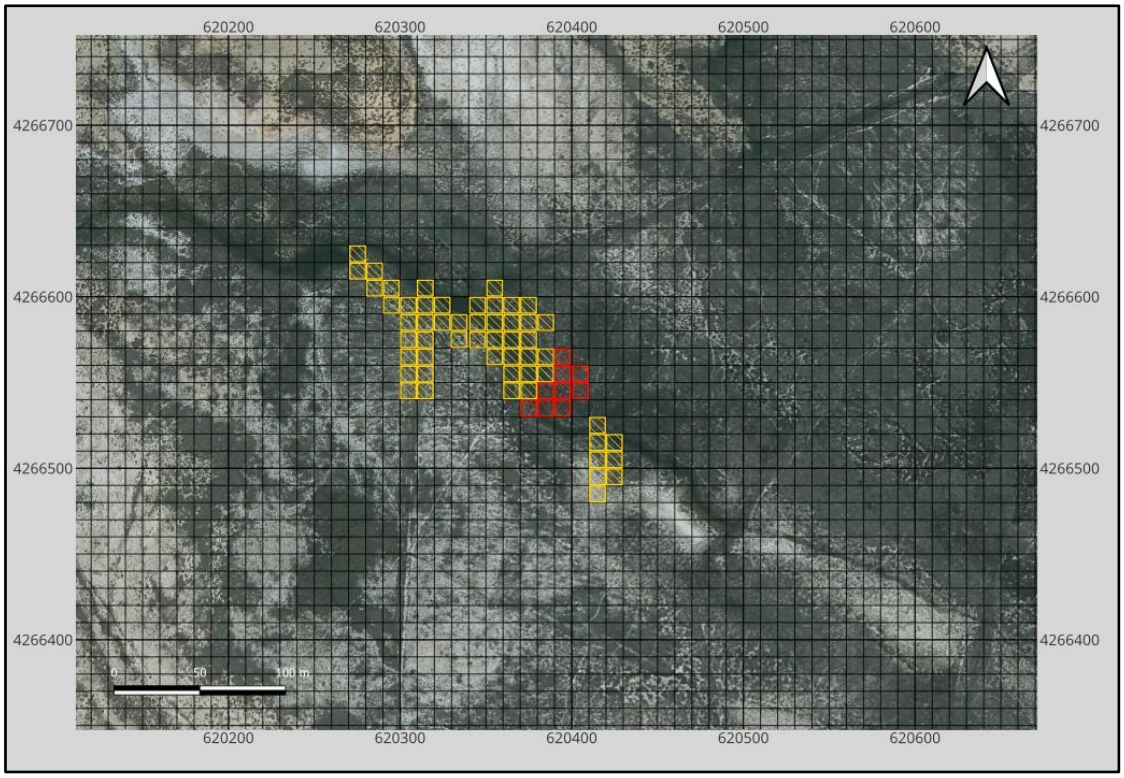

Figura S. Mapa de distribución de *L. admirabile y L. tobarrense* en marzo de 2025. Amarillo: *L. admirabile*; Rojo: *L. tobarrense*.

Biblioteca
UNIVERSITAS Miguel Hernández

Anexo II.

Resultados de los modelos predictivos realizados con MaxEnt y R.

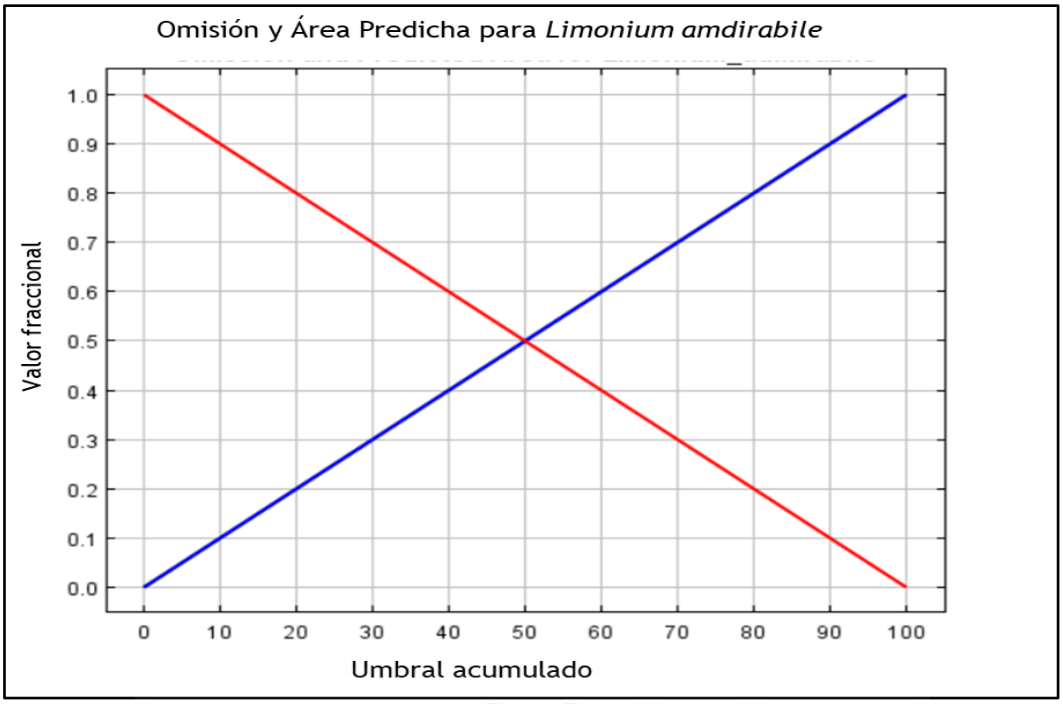

Figura A. Análisis de omisión/comisión para *L. admirabile*; Rojo: Fracción de fondo predicha. Azul: Omisión en muestras de entrenamiento. Negro: Omisión predicha.

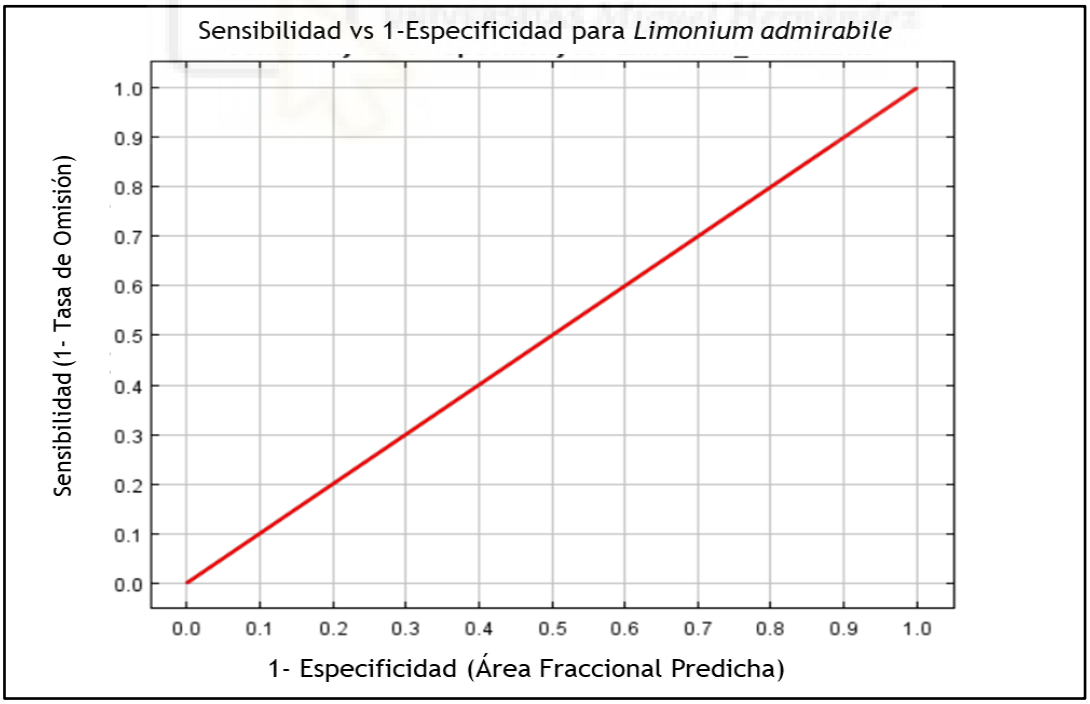

Figura B. Curva Receiver Operating Characteristic (ROC) para *L. admirabile*; Rojo: Datos de entrenamiento (AUC=0,500). Negro: Predicción aleatoria (AUC=0,5).

Figura C. Mapa predictivo de distribución potencial de *L. amdirabile*.

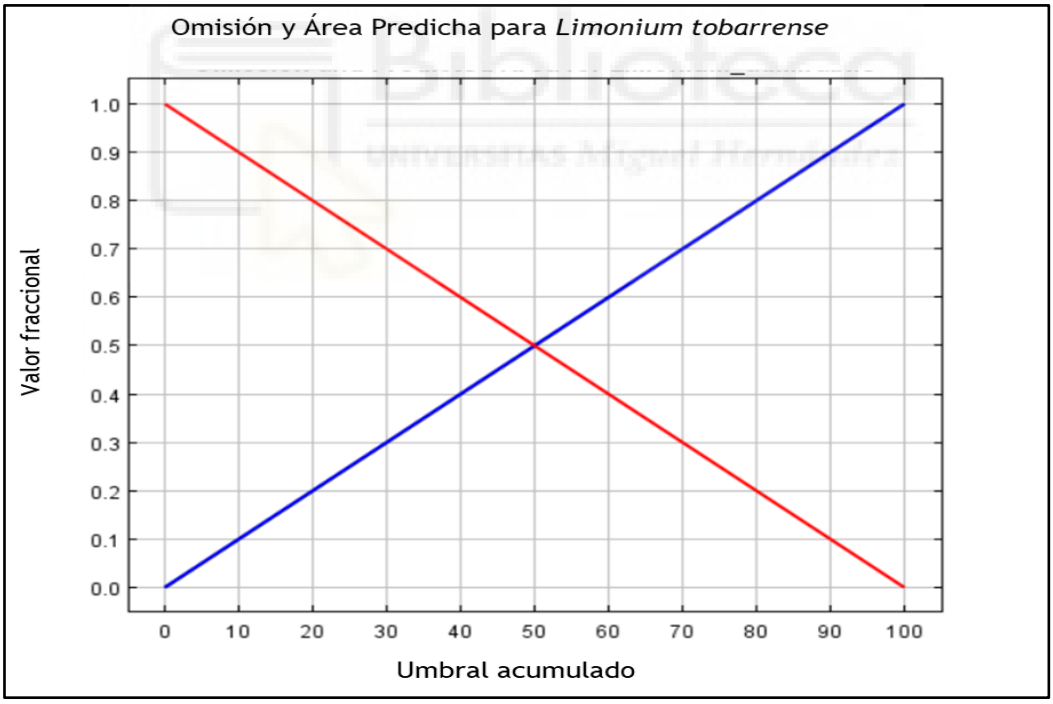

Figura D. Análisis de omisión/comisión para *L. tobarrense*; Rojo: Fracción de fondo predicha. Azul: Omisión en muestras de entrenamiento. Negro: Omisión predicha.

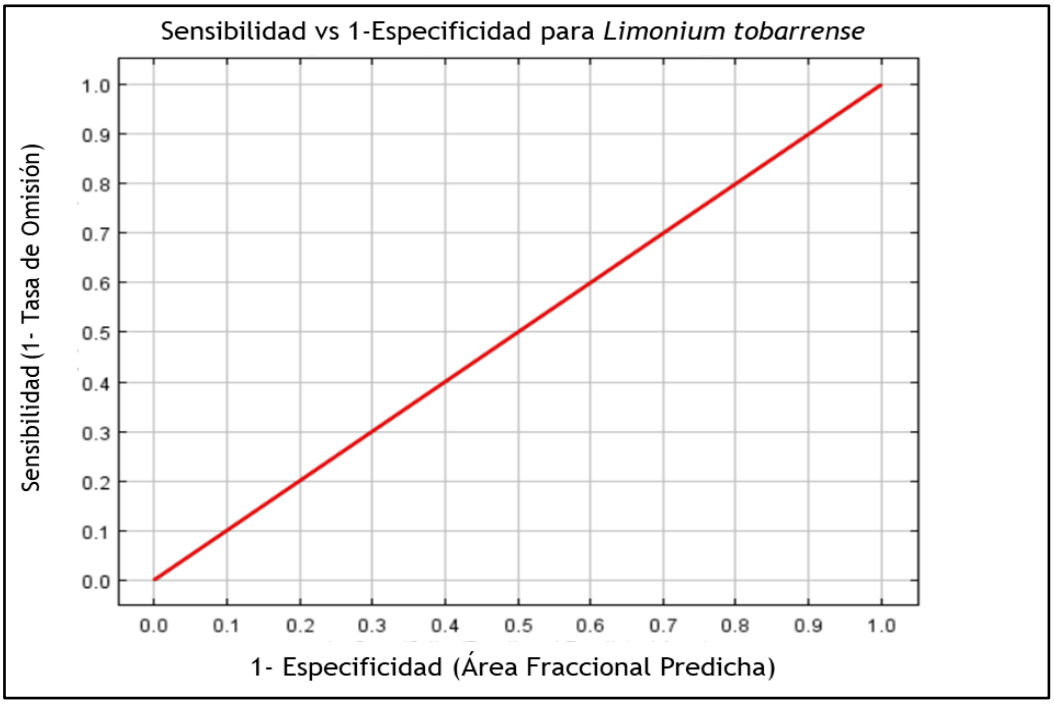

Figura E. Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para *L. tobarrense*; Rojo: Datos de entrenamiento (AUC=0,500). Negro: Predicción aleatoria (AUC=0,5).

Figura F. Mapa predictivo de distribución potencial de *L. tobarrense*.