



VNiVERSIDAD D SALAMANCA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y FISIOLOGÍA

VEGETAL

TESIS DOCTORAL

Estudio multidisciplinar del endemismo amenazado *Antirrhinum lopesianum* Rothm. (Plantaginaceae) en la Península Ibérica: biología, ecología, estado de conservación y modelización de nicho ecológico

D. César Corral Manzano

Salamanca, 2023

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y

FISIOLOGÍA VEGETAL



**UNIVERSIDAD
DE SALAMANCA**

TESIS DOCTORAL

Estudio multidisciplinar del endemismo amenazado *Antirrhinum lopesianum* Rothm. (Plantaginaceae) en la Península Ibérica: biología, ecología, estado de conservación y modelización de nicho ecológico

Tesis doctoral presentada por el Graduado en Biología D. César Corral Manzano para optar al grado de Doctor por la Universidad de Salamanca

Salamanca, 2023



VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

Dr. D. Francisco Manuel Amich García, Catedrático del Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal de la Universidad de Salamanca,

CERTIFICA:

que la tesis doctoral titulada “*Estudio multidisciplinar del endemismo amenazado *Antirrhinum lopesianum* Rothm. (Plantaginaceae) en la Península Ibérica: biología, ecología, estado de conservación y modelización de nicho ecológico*”, ha sido realizada bajo su dirección, por D. César Corral Manzano graduado en Biología y Máster en Biología y Conservación de la Biodiversidad, para optar al título de Doctor por la Universidad de Salamanca desarrollado en el marco del Programa de Doctorado en Biología y Conservación de la Biodiversidad, autorizando su presentación y defensa.

Fdo.: Dr. D. Francisco Manuel Amich García, el ...⁴ de ..julio.... de 2023

Fdo.: D. César Corral Manzano, el ...⁴ de ..julio.... de 2023

Agradecimientos

A mis padres y a mis abuelos, han sido un apoyo fundamental todos estos años para que desarrollara esta tesis. Así como a mis tíos y primos, que siempre han estado ahí.

A mis amigos, que durante estos años me han apoyado.

A mi director, el Dr. D. Francisco Manuel Amich García por todo lo aprendido del él en todos estos años y al Dr. D. Juan Antonio Sánchez Rodríguez, por todo lo enseñado y su inestimable ayuda en los muestreos de campo.

Muchas gracias a todos los que aparecen aquí nombrados y a tantos otros que no, con los que he coincidido a lo largo de los años y de los que he podido aprender.

Índice general

	página
Agradecimientos	7
Capítulo 1: Introducción general	11
Introducción	13
Hipótesis y objetivos	19
Bibliografía	20
Capítulo 2: Estado de conservación actual de <i>Antirrhinum lopesianum</i> Rothm. en la Península Ibérica	25
Introducción	27
Materiales y métodos	29
Resultados	32
Discusión	41
Bibliografía	49
Capítulo 3: Modelización de nicho ecológico de <i>Antirrhinum lopesianum</i> Rothm. junto a <i>Scrophularia valdesii</i> Ortega Olivencia & Devesa para la generación de zonas de coocurrencia en la Península Ibérica	59
Introducción	61
Materiales y métodos	63
Resultados	73
Discusión	79
Bibliografía	89
Material suplementario	107
Apartado 1. Tabla de correlación de variables	107

Capítulo 4: Modelización de nicho ecológico bajo escenarios climáticos futuros de <i>Antirrhinum lopesianum</i> Rothm. en la Península Ibérica	109
Introducción	111
Materiales y métodos	113
Resultados	120
Discusión	127
Bibliografía	135
Material suplementario	150
Apartado 1. Tabla de correlación de variables	150
Apartado 2. Curvas de respuesta	151
Apartado 3. Cambios proyectados en la distribución de zonas idóneas en los escenarios de cambio futuro	152
Apartado 4. MESS	157
Apartado 5. MoD	159
Capítulo 5: Conclusiones generales	161

Capítulo 1:

Introducción general

Capítulo 1: Introducción general

Introducción

El primer paso a la hora de realizar cualquier acción relacionada con la conservación de especies endémicas o amenazadas consta de una serie de pasos, entre los que destacamos: conocer inicialmente su área de distribución actual, acompañado por el discernimiento del estado de las poblaciones y en último, señalar las amenazas que exponen al riesgo de extinción al taxón de interés (Abdelaal et al., 2019).

Bajo esta premisa, se han desarrollado experiencias previas de investigación con la temática de la Biología de la Conservación como eje conductor para ahondar en el conocimiento de especies amenazadas, endémicas y raras, y así aportar a los gestores y administraciones públicas una base relevante de información científica sobre la que apoyarse a la hora de tomar decisiones, a través en este caso de tesis doctorales. Siendo estos trabajos de gran utilidad, ya que permiten formar a un personal científico altamente especializado como son los botánicos de campo (Güemes, 2019), y cuya falta ya ha sido señalada por algunos autores (Negrón-Ortiz, 2014) a la hora de gestionar plantas amenazadas.

A modo de ejemplo, podemos señalar tres casos de este tipo de experiencias que se han desarrollado en la última década, dos desarrollados sobre taxones presentes en la Península Ibérica y uno en la italiana isla de Cerdeña.

En 2013, encontramos el trabajo de Amat (2013), sobre las especies *Pseudomisopates rivas-martinezii* (Sánchez Mata) Güemes y *Erysimum penyalarensense* (Pau) Polatschek, estando ambos taxones amenazados y siendo este el principal objetivo de ese estudio, conocer las causas de amenaza en ambos taxones. Cuenca-Lombraña (2016) estudió las poblaciones de *Gentiana lutea* subsp. *lutea* L., centrándose en la población sarda, con un nivel de amenaza muy superior a su estado en la Península Itálica. La experiencia más cercana a nosotros temporalmente, la encontramos en Ramírez Rodríguez (2018), estudiando al endemismo *Delphinium fissum* subsp. *sordidum* (Cuatrec.) Amich, E. Rico & J. Sánchez con una evaluación de este junto a otros taxones de la serie *Fissa* en la Península Ibérica, para así conocer cuáles de todas las poblaciones pertenecían a este taxón entre otros aspectos.

Todos estos trabajos tratan la situación de estas especies como mencionamos anteriormente con la experiencia presentada de Abdelaal et al. (2019) con *Rosa arabica* Crép., realizando un estudio pormenorizado de su situación para conocer cómo se encuentra actualmente y así poder, desde un enfoque multidisciplinar y holístico, reseñar una serie de conclusiones e implicaciones acerca de la conservación de esos taxones.

La Biología de la Conservación es una disciplina científica nacida no hace demasiadas décadas, fechada por algunos autores en 1978 (Tellería, 1999), que surge como una disciplina de crisis, ocasionada por la pérdida de biodiversidad, que estudia las dinámicas y problemas de las especies perturbadas, las comunidades y ecosistemas (Soulé, 1985). Se realiza desde una perspectiva multidisciplinar que busca entender las causas del deterioro de la diversidad biológica, que se manifiesta en tres niveles: genes, especies y ecosistemas (Tellería, 1999). Es decir, esta ciencia nace con la intención de buscar la prevención de la extinción de las poblaciones restantes de una especie rara o en peligro (Drayton & Primack, 1999).

Teniendo en cuenta esto, este trabajo presenta un enfoque multidisciplinar dedicado a *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica que trata varios aspectos como: los modelos de nicho ecológico (ENM), los pronósticos de las áreas de idoneidad respecto a las previsiones climáticas de los escenarios climáticos futuros del IPCC o el estudio de las amenazas y la evaluación del estado de conservación empleando las directrices de la UICN. Si otorgamos una especial atención a aquellas especies que se encuentran dentro del Anexo IV de la Directiva 92/43/CEE, aquellas de interés comunitario y que requieren una protección estricta (DOUE, 1992) y que, además se encuentran en un listado de amenaza internacional como la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Amich et al., 2013) encontramos al taxón sobre el que versa el presente estudio.

La familia Plantaginaceae Juss. pertenece al orden Lamiales, con unos 94 géneros y 1.900 especies a lo largo del mundo (Başer et al., 2020), incluyendo especies anuales o perennes, la mayoría de ellas herbáceas (Muazaz et al., 2022). En esta familia destacan algunos géneros como *Antirrhinum* L., con gran valor medicinal, ornamental o económico (Xie et al., 2023), cuyas especies han sido empleadas con fines experimentales desde el inicio de los estudios sobre la herencia genética por parte de Mendel y Darwin, así como un modelo de experimentación en angiospermas (Hudson et al., 2008; Tolety & Sane, 2011). Aunque previamente perteneció a la familia Scrophulariaceae Juss. (Shehata &

Loutfy, 2006; Hamed et al., 2014; Başer et al., 2020), ahora se encuentra dentro de la familia Plantaginaceae, ya que ésta se localiza próxima a la familia Scrophulariaceae (Muazaz et al., 2022).

Este género se encuentra dividido en tres subsecciones: *Antirrhinum*, *Streptosepalum* y *Kickxiella* (Tan et al., 2020) y posee cerca de 28 especies (Tan, 2018), aunque en la Península Ibérica solo encontramos 25 (Medina-Gavilán & González, 2021) donde se sitúa su centro de diversidad con una gran cantidad de endemismos de distribución escasa (Güemes, 2009), ya que es un género nativo de la región mediterránea, aunque algunas especies se extienden hacia el norte y el suroeste en América del Norte (Doaigey & Harkiss, 1991). Dentro de la subsección *Kicksiella* encontramos a *A. lopesianum* (Tan, 2018), el taxón en el que se centra este estudio.

Esta especie, cuyo sinónimo es *Antirrhinum molle* subsp. *lopesianum* (Rothm.) P. Silva (Güemes, 2009), fue colectada por Manuel Ferreira en 1879 en los alrededores de Bragança (Gomes et al., 2013). En 1926, el párroco Miranda Lopes realizó una herborización del mismo en el entorno de Argozelo (Bragança), cuyo pliego fue estudiado por el botánico teutón Werner Rothmaler y nombrado más tarde con el nombre con el que actualmente conocemos a este taxón (Aguiar, 2000). No siendo localizado en España hasta 1989, por Amich y Sánchez Rodríguez en Aldeadávila de la Ribera (Amich et al., 1989).



Figura 1.1. Hábito de *A. lopesianum*, detalle de las flores (Imagen izquierda) y de sus delgados tallos (Imagen derecha). (Imagen izquierda): Playa del Rostro, Aldeadávila de la Ribera (Salamanca) el 1/05/2019, (Imagen derecha): Puente entre *Carção* y *Vimioso sobre el río Maçãs*, *Carção (Bragança)* el 10/05/2019.

Es un caméfito perenne densamente lanoso (Figura 1.1), con indumento homótrico y blanco que comparte con las hojas, con tallos de entre 8 a 46 centímetros, siendo delgados, flexuosos, colgantes o decumbentes, muy ramosos, no cirrosos y lanosos, mientras sus hojas ($3,5-17 \times 2,5-11$ milímetros), inferiores opuestas y superiores alternas, son delgadas, flexuosas, planas, verdes por ambas caras y densamente lanosas (Güemes, 2009).

La inflorescencia es laxa, con 4-13 flores alternas, de flores con corola (19-30 milímetros) de color blanco, con venas purpúreas-violáceas, paladar blanco-amarillento y lóbulos del labio superior con estriación violeta (González Talaván et al., 2004). Cuando fructifican, generan una cápsula de pocos milímetros, subglobosa, pubescente, con pequeñas semillas (0,7-0,9 milímetros), de oblongo-ovoides a subcónicas, crestadas, en ocasiones irregularmente reticuladas, pardo oscuras (Güemes, 2009). La floración tiene lugar entre los meses de abril y mayo, donde media la polinización entomófila (Amich et al., 2004), mientras la fructificación se da en verano, desde julio a septiembre (Bernardos et al., 2006).



Figura 1.2. *A. lopesianum* sobre roquedos de gneis en Aldeadávila de la Ribera (Salamanca) el 1/05/2019.

A. lopesianum se desarrolla en fisuras y grietas de roquedos (Figura 1.2 y 1.3) de naturaleza silíceas (gneises y granitos) a baja altitud (350-550 m.s.n.m.) que se integran en comunidades de caméfitos y hemicriptófitos, principalmente xerofíticos, perteneciente a

una asociación fitosociológica endémica del sector Lusitano Duriense: *Phagnalo saxatilis-Antirrhinetum lopesianii* Bernardos, Crespi, Aguiar, F.J. Fernández & Amich 2004 (Bernardos et al., 2004). Su distribución (Figura 1.4) se concentra en la cuenca baja del río Duero y varias zonas de dos de sus afluentes, los ríos Sabor y Maçãs, ubicados en el centro-oeste de la Península Ibérica (Bernardos et al., 2006).



Figura 1.3. *A. lopesianum* sobre roquedos de gneis en Cabezo das Freiras, río Sabor, Grijó de Parada (Bragança) el 17/06/2019.

Dadas sus características intrínsecas, debido a que este estenoendemismo concurre en un área de distribución bastante restringida y sus poblaciones hacen frente a un bajo número de individuos por localidad, así como se encuentran severamente fragmentadas y hacen frente a varias amenazas, han hecho que sea recogido en varias listas rojas de flora, como:

- ❖ Lista Roja de la Flora Vasculare Española (VV. AA., 2000), bajo la categoría “En peligro” (EN) [D]
- ❖ Lista Roja 2008 de la Flora Vasculare Española (Moreno, 2008), bajo la categoría “En peligro” (EN) [B2ab(v); C2a(i); D; E]
- ❖ Lista Roja 2010 de la Flora Vasculare Española (Bañares et al., 2010), bajo la categoría “En peligro” (EN) [B2ab(v); C2a(i); D; E]
- ❖ Lista Vermelha da Flora Vasculare de Portugal Continental (Carapeto et al., 2020), bajo la categoría “Vulnerable” (VU) [D1+2]

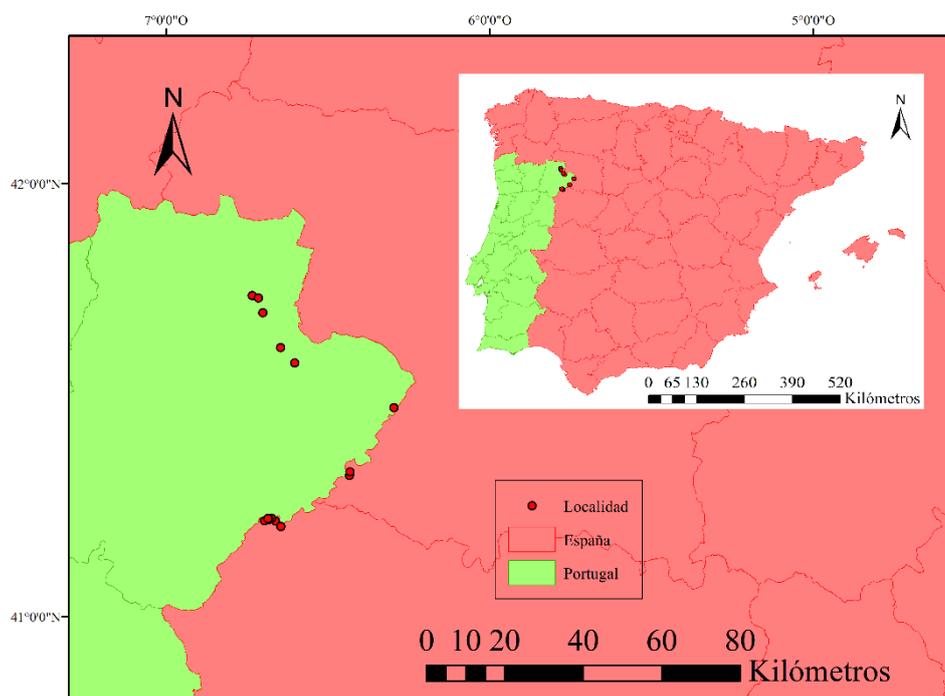


Figura 1.4. Mapa de la distribución de las localidades conocidas de *A. lopesianum* en la Península Ibérica.

Así como en listados internacionales, como:

- ❖ Lista Roja Europea de Plantas Vasculares (Bilz et al., 2011), en la categoría “En peligro” (EN)
- ❖ Lista Roja de la UICN (Amich et al., 2013), en la categoría “En peligro” (EN) [B2ab(iii,v)]

Con respecto al grado de protección legal, a su vez, se encuentra protegida tanto a nivel autonómico, como a nivel nacional e internacional. En Castilla y León está recogido en el Catálogo de Especies Amenazadas de (BOCYL, 2015), bajo la categoría de “En peligro de extinción”. A nivel nacional, en España se encuentra en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial o LESPRES (BOE, 2011) que le confiere protección a nivel estatal. Y a nivel internacional, se ubica en el Anexo IV de la Directiva 92/43/CEE en el que se sabe que incluye las especies animales y vegetales de interés comunitario que requieran una protección estricta (DOUE, 1992), ratificado a nivel nacional tanto para España (BOE, 1995) como para Portugal (Diário da República, 1997).

Hipótesis y objetivos

El objetivo principal de esta memoria doctoral consiste en proporcionar información relevante del estado de conservación de la especie *Antirrhinum lopesianum* Rothm., desde un enfoque multidisciplinar que abarque su biología y ecología, para aportar nuevos datos sobre este taxón y generar información útil desde el conocimiento científico, para que los gestores y entes públicos puedan tomar decisiones y tengan un marco de actuación modelo sobre una especie endémica y amenazada para poder emplearlo sobre otros taxones en igual situación en materia de conservación.

Los objetivos específicos se resumen en los distintos capítulos en los que se ha estructurado esta memoria:

Capítulo 2: Estado de conservación actual de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica.

Establecer la distribución actual de *A. lopesianum*, analizar la estructura poblacional, identificar las amenazas a las que hace frente, determinar su estado de conservación bajo las categorías y los criterios de la UICN, ampliar el conocimiento fitosociológico del taxón y proponer la creación de una nueva microrreserva de flora.

Capítulo 3: Modelización de nicho ecológico de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. junto a *Scrophularia valdesii* Ortega Olivencia & Devesa para la generación de zonas de coocurrencia en la Península Ibérica

Modelar el hábitat idóneo potencial de *A. lopesianum* y de *S. valdesii* generando mapas predictivos del mismo, identificar qué variables ambientales se encuentran relacionadas con esta distribución, conocer el grado de solapamiento entre ambas especies y evaluar si esta relación es informativa de cara a la conservación e identificar espacios para la protección de *A. lopesianum*, el descubrimiento de nuevas poblaciones y la posible translocación de poblaciones.

Capítulo 4: Modelización de nicho ecológico bajo escenarios climáticos futuros de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica.

Generar mapas predictivos del hábitat idóneo en base a los escenarios futuros, comparar estos con los generados para las condiciones climáticas actuales, proponer medidas en favor de la conservación y gestión de esta especie junto a una discusión de cómo afectan estos cambios ambientales a las variables seleccionadas de cara al futuro.

Bibliografía

Abdelaal, M., Fois, M., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2019). Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. *Ecological Informatics*, 50, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.01.003>

Aguiar, C. (2000). *Flora e vegetação da Serra de Nogueira e do Parque Natural de Montesinho*. Universidade Técnica de Lisboa.

Amat, E. (2013). *Biología de la conservación de Pseudomisopates rivas-martinezii y Erysimum penyalareense, dos táxones amenazados de la Cordillera Carpetana*. [Tesis doctoral, Universidad Rey Juan Carlos]. <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/11879>

Amich García, F., Bernardos Hernández, S., González Talaván, A., Caldas, F.B. & Alves, P. (2013). *Antirrhinum lopesianum*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2013*: e.T161986A5523922. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T161986A5523922.en>

Amich, F., Bernardos, S., Aguiar, C., Fernández-Diez, J., & Crespí, A. (2004). Taxonomic composition and ecological characteristics of the endemic flora of the lower Duero Basin (Iberian Peninsula). *Acta Botanica Gallica: Bulletin de La Societe Botanique de France*, 151(4), 341–352. <https://doi.org/10.1080/12538078.2004.10515439>

Amich, F., Sánchez Rodríguez, J. A., Gallego, F., Sánchez Anta, M. A. (1989). *Antirrhinum lopesianum* Rothm., novedad para la flora española. *Bol Soc Brot*, sér 2, 52:231 – 237.

Bañares, Á., G. Blanca, J. Güemes, J.C. Moreno & S. Ortiz, eds. (2010). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España. Adenda 2010*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)- Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid, 170 pp.

Başer, B. (2020). Pollen morphology of the some taxa belonging to *Veronica* L. (Plantaginaceae) and Its taxonomic importance. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3), 274–281. <https://doi.org/10.46309/biodicon.2020.756267>

Bernardos, S., Amado, A., Aguiar, C., Santos, C., Fernández-Diez, J., González-Talaván, A., & Amich, F. (2006). Conservation status of the threatened Iberian Peninsula narrow

endemic *Antirrhinum lopesianum* Rothm. (Scrophulariaceae). *Plant Biosystems*, 140(1), 2–9. <https://doi.org/10.1080/11263500500499692>

Bernardos, S., Crespi, A., Aguiar, C., Fernández, J., & Amich, F. (2004). The plant communities of the *Rumici indurati-Dianthion lusitani* alliance in the Lusitan Duriensean biogeographical sector (NE Portugal and CW Spain). *Acta Botanica Gallica: Bulletin de La Societe Botanique de France*, 151(2), 147–164. <https://doi.org/10.1080/12538078.2004.10516030>

Bilz, M., Kell, S.P., Maxted, N. & Lansdown, R.V. (2011). European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Offi of the European Union.

Carapeto, A., Francisco, A., Pereira, P. & Porto M. (eds.). (2020). Lista Vermelha da Flora Vascular de Portugal Continental. Sociedade Portuguesa de Botânica, Associação Portuguesa de Ciência da Vegetação – PHYTOS e Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (coord.). Coleção «Botânica em Português», Volume 7. Lisboa: Imprensa Nacional, 374 pp.

Cuena-Lombrana, A. (2016). *Integrated in situ and ex situ approach for Gentiana lutea L. ssp. lutea conservation*. [Doctoral thesis, Università degli Studi di Cagliari]. <https://iris.unica.it/handle/11584/266729>

Decreto-Lei n° 226/97, de 27 de agosto, Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 92/43/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, relativa à conservação dos habitats naturais e da flora e fauna selvagens. *Diário da República*, 197, de 27 de agosto de 1997. https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/226-194225?_ts=1679702400034

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. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 206, de 22 de julio de 1992.

Doaigey, A. R., & Harkiss, K. J. (1991). Application of epidermal characters to the taxonomy of European species of *Antirrhinum* (Schrophulariaceae). *Nordic Journal of Botany*, 11(5), 513–524. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1991.tb01258.x>

Drayton, B., & Primack, R.B. Experimental Extinction of Garlic Mustard (*Alliaria petiolata*) Populations: Implications for Weed Science and Conservation Biology. *Biological Invasions* 1, 159–167 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1010017510471>

Durán Castillo, M. S. (2019). *Genomics of divergence and hybridisation in the genus Antirrhinum L.* [Doctoral thesis, The University of Edinburgh] <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/36051>

Gomes, A., Fortalezas, S., Pimpão, R., Figueira, I., Maroco, J., Aguiar, C., Ferreira, R. B., Miguel, C., & Santos, C. N. (2013). Valuing the Endangered Species *Antirrhinum lopesianum*: Neuroprotective Activities and Strategies for in vitro Plant Propagation. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2(4), 273–292. <https://doi.org/10.3390/antiox2040273>

González Talaván, A., Bernardos Hernández, S., & Amich García, F. (2004). *Antirrhinum lopesianum* Rothm. En Bañares, Á., Blanca, G., Güemes, J., Moreno, J.C. & Ortiz S., eds. *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España* (pp. 586-587). Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, 1.069 pp.

Güemes, J. (2009) *Antirrhinum L.* En Castroviejo, S., Aedo, C., Laínz, M., Muñoz Garmendia, F., Nieto Feliner, G., Paiva, J. & Benedí, C. (eds.). *Flora ibérica* 13: 134-166. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

Güemes, J. (2019). Estado de conservación de la Flora de la Región Mediterránea: realidad y retos de futuro. En Y. Díaz-Acha & D. Atienza (Eds.), *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (Tomo XV, pp. 91–121). Real Sociedad Española de Historia Natural.

Hamed, K. A., Hassan, S. A., Mohamed, A. H., Hosney, N. K. (2014). Morphological and anatomical study on Plantaginaceae Juss. and some related taxa of Scrophulariaceae Juss. *Egypt. J. Exp. Biol. (Bot.)*, 10(2): 135 – 146.

Hudson, A., Critchley, J., & Erasmus, Y. (2008). The genus *Antirrhinum* (snapdragon): a flowering plant model for evolution and development. *CSH Protocols*, 2008(10), db.emo100. <https://doi.org/10.1101/pdb.emo100>

Ley 4/2015, de 24 de marzo, del Patrimonio Natural de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, 61, de 30 de marzo de 2015. http://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100Detalle/1246988359553/_/1284418331500/Comunicacion

Medina-Gavilán, J. L., & González, B. (2021). El endemismo bético-rifeño *Antirrhinum australe*, novedad corológica para la provincia de Sevilla. *Botanica Complutensis*, 45, e71731. <https://doi.org/10.5209/bocm.71731>

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.

Muazaz A. Hasan AL-Hadeethi, Sumaiya N. Hawar, Ali T. AL-Taie, & Linha Qutaiba Ahmed. (2022). Morphological and Anatomical Review of Some *Veronica* Species from the Plantaginaceae Family. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 192–197. <https://pnjournal.com/index.php/home/article/view/1724>

Negrón-Ortiz, V. (2014). Pattern of expenditures for plant conservation under the Endangered Species Act. *Biological Conservation*, 171, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.018>

Ramírez Rodríguez, R. (2018). *Estudio multidisciplinar sobre las especies del complejo de la serie Fissa del género Delphinium en la península ibérica, con especial atención a Delphinium fissum subsp. sordidum: implicaciones para la conservación*. [Tesis doctoral, Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/139862>

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*, 46, de 23 de febrero de 2011. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/02/04/139>

Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y la fauna y flora silvestres. *Boletín Oficial del Estado*, 310, de 28 de diciembre de 1995. <https://www.boe.es/eli/es/rd/1995/12/07/1997/con>

Shehata, A. A., & Loutfy, M. H. A. (2006). On the taxonomy of Plantaginaceae Juss. Sensu Lato: Evidence from SEM of the seed coat. *Turkish Journal of Botany*, 30(2), 71–84. <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol30/iss2/2/>

Soulé, M. E. (1985). What is conservation biology? *Bioscience*, 35(11), 727–734. <https://doi.org/10.2307/1310054>

- Tan, Y. (2018). *Trichome morphology and development in the genus Antirrhinum*. [Doctoral thesis, The University of Edinburgh] <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/33235>
- Tan, Y., Barnbrook, M., Wilson, Y., Molnár, A., Bukys, A., & Hudson, A. (2020). Shared mutations in a novel glutaredoxin repressor of multicellular trichome fate underlie parallel evolution of *Antirrhinum* species. *Current Biology: CB*, 30(8), 1357-1366.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.01.060>
- Tellería, J. L. (1999) Biología de la conservación: Balance y perspectivas. *Ardeola* 46(2), 1999, 239-248.
- Tolety, J., & Sane, A. (2011). *Antirrhinum*. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (pp. 1–14). Springer Berlin Heidelberg.
- VV. AA. (2000). *Lista Roja de Flora Vasculare Española* (valoración según categorías UICN). *CONSERVACIÓN VEGETAL* 6: 11-38.
- Xie, P., Tang, L., Luo, Y., Liu, C., & Yan, H. (2023). Plastid phylogenomic insights into the inter-tribal relationships of Plantaginaceae. *Biology*, 12(2), 263. <https://doi.org/10.3390/biology12020263>

Capítulo 2:

Estado de conservación actual de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica

Capítulo 2: Estado de conservación actual de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica

Resumen:

La Región Mediterránea es considerada como uno de los puntos calientes de diversidad mundial, con la Península Ibérica como uno de sus exponentes, donde destacamos al género *Antirrhinum* L., ya que está altamente diversificado en esta península, poseyendo un elevado número de endemismos y algunos de ellos con algún grado de amenazada. Entre ellos señalamos a *Antirrhinum lopesianum* Rothm., un endemismo estricto y amenazado presente en el centro-oeste de la Península Ibérica, ubicado tanto en España como en Portugal, que dado su estado de conservación y las amenazas a las que hace frente se encuentra en varios listados de especies amenazadas, tanto nacionales como internacionales. En este capítulo se ha estudiado su distribución actual, el tamaño y estructura de sus subpoblaciones, las amenazas a las que hace frente y su actual estado de conservación según las categorías y criterios de la UICN. El número de individuos contabilizados ha sido de 858, ubicados en la cuenca baja del río Duero, así como en el río Sabor y en el Maçãs, afluentes del río Duero, y su estado de conservación es de “En peligro” (EN). Además, se ha propuesto la creación de una microrreserva de flora en una subpoblación representativa del taxón, dadas sus especiales características ecológicas y geológicas. Así como una serie de medidas de conservación *in situ* y *ex situ* que favorezcan la pervivencia del taxón.

Palabras clave: endemismo estricto, *Antirrhinum*, UICN, Península Ibérica, microrreserva de flora, especie amenazada.

Capítulo 3:

Modelización de nicho ecológico de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. junto a *Scrophularia valdesii* Ortega Olivencia & Devesa para la generación de zonas de coocurrencia en la Península Ibérica

Capítulo 3: Modelización de nicho ecológico de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. junto a *Scrophularia valdesii* Ortega Olivencia & Devesa para la generación de zonas de coocurrencia en la Península Ibérica

Resumen:

Hemos empleado un modelo de nicho ecológico o ENM para conocer la idoneidad relativa de hábitat de *Antirrhinum lopesianum* Rothm., junto a otra especie endémica, *Scrophularia valdesii* Ortega Olivencia & Devesa, para generar zonas de coocurrencia de hábitat y así dirigir zonas de muestreos, translocaciones, reintroducciones o la fijación de nuevas poblaciones, basándonos en un método diferente. Para llevar a cabo este estudio, hemos empleado a Maxent, junto a las variables bioclimáticas de CHELSA y con un MDE proveniente de Copernicus. Los resultados, señalan que las áreas con una mayor idoneidad relativa de hábitat se encuentran en el río Duero a su paso por la zona fronteriza entre España y Portugal, así como en los valles de los ríos Sabor y Maçãs siendo estas zonas protegidas, con un AUC de 0,993 para la primera y de 0,985 para la segunda especie. Destacando que las variables que más influyentes en cuanto a la distribución del hábitat en ambos taxones se corresponde con la pendiente, Bio 3, Bio 11 y Bio 15. Todas ellas son de gran relevancia para la biología de estas especies, como ha demostrado el empleo del ENM, siendo una herramienta útil para señalar las zonas idóneas de estas especies.

Palabras clave: endemismo, Maxent, CHELSA, ENM, idoneidad de hábitat, tamaño reducido, especie amenazada.

Capítulo 4:

Modelización de nicho ecológico bajo escenarios climáticos futuros de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica

Capítulo 4: Modelización de nicho ecológico bajo escenarios climáticos futuros de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. en la Península Ibérica

Resumen:

Entre las amenazas a las que tiene que hacer frente la diversidad, como la fragmentación de los hábitats o la introducción de especies invasoras, destacamos a una que genera una gran amenaza global, el cambio climático. Para conocer el impacto que esta amenaza puede ocasionar en las especies, empleamos modelos de nicho ecológico (ENM) para generar pronósticos de tiempo futuro a partir de los escenarios propuestos por el IPCC, con la última versión disponible. Tratando de establecer un pronóstico del estado de las poblaciones de *Antirrhinum lopesianum* Rothm. de cara al futuro, hemos realizado un ENM a partir de Maxent desde el tiempo actual hasta el año 2100. El modelo ha funcionado bien y las salidas de los modelos generados pronostican una pérdida destacable de las zonas de mayor idoneidad para este taxón a lo largo de los años. Estos resultados se han acompañado de una serie de medidas en favor de la conservación de este endemismo.

Palabras clave: endemismo estricto, ENM, Maxent, CHELSA, CMIP6, cambio climático, especie amenazada.

Capítulo 5:

Conclusiones generales

