



**EL AZUFAIFAR:  
ECOSISTEMA CLAVE PARA EL BIENESTAR  
HUMANO EN ZONAS ÁRIDAS**





### **In Memoriam**

*A Hermelindo Castro Nogueira (Melo), por su contribución al conocimiento de los ecosistemas semiáridos del sureste Ibérico, su defensa de la naturaleza, y su labor como promotor del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. La comprensión y valoración de los azufaihares como elemento esencial de nuestro patrimonio colectivo, se lo debemos en gran parte a Melo.*



#### Beneficiario Coordinador

---



#### Beneficiarios asociados

---



#### Cofinanciador

---



## El azufaifar: ecosistema clave para el bienestar humano en zonas áridas

Proyecto LIFE ADAPTAMED (LIFE14 CCA/ES000612), acción C3.

Autores: Javier Cabello, María Jacoba Salinas-Bonillo, Emilio González-Miras, M. Trinidad Torres-García, Juan Gisbert-Gallego, Andrés Reyes Díez, Ester Mora, Manuel Pacheco-Romero, Sebastián Fernández, Alba Rodríguez, Emilio Guirado, Montserrat Escudero y Hermelindo Castro.

Cómo citar: Cabello, J., Salinas-Bonillo, M.J., González-Miras, E., Torres-García, M.T., Gisbert-Gallego, J., Reyes-Díez, A., Mora, E., Pacheco-Romero, M., Fernández, S., Rodríguez, A., Guirado, E., Escudero, M. y Castro H. (2024). El azufaifar: ecosistema clave para el bienestar humano en zonas áridas. Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 120 pp.

URI: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/102899>

D.L.: SE 3025-2024

Diseño gráfico y maquetación: Creados Visual S.L. (Granada)

Impresión: Solprint S. L. (Málaga)

EL AZUFAIFAR:  
ECOSISTEMA CLAVE PARA EL BIENESTAR  
HUMANO EN ZONAS ÁRIDAS

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	<b>08</b>
<hr/>	
<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
<hr/>	
<b>2. Caracterización del azufaifar</b>	<b>13</b>
2.1. El azufaifar: una prioridad para la conservación de la biodiversidad en Europa	14
2.2. Biodiversidad	16
La flora	16
La fauna	18
<hr/>	
<b>3. Estructura y funcionamiento del azufaifar</b>	<b>27</b>
3.1. Un archipiélago de islas de vegetación arbustiva en un océano de aridez	28
3.2. <i>Ziziphus lotus</i> : la especie ingeniera del ecosistema	30
3.3. Ecosistema dependiente de aguas subterráneas	35
3.4. El subsuelo del azufaifar: donde las rocas se encuentran con la vida	41
<hr/>	
<b>4. Contribuciones del azufaifar al bienestar humano</b>	<b>45</b>
4.1. Contribuciones materiales	48
4.2. Contribuciones de regulación	50
4.3. Contribuciones no materiales	56
<hr/>	
<b>5. Amenazas sobre los azufaifares</b>	<b>61</b>
5.1. Cambios de uso del suelo	62
5.2. Cambio climático	64
5.3. Especies invasoras	65
5.4. Especies defoliadoras	66
5.5. Falta de reclutamiento	67

<b>6. Medidas de conservación</b>	<b>69</b>
<hr/>	
<b>7. Acciones de gestión en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED</b>	<b>73</b>
7.1. Ensayos de restauración ecológica para la densificación poblaciones de <i>Ziziphus lotus</i>	74
7.2. Retirada de sisales y henequenes	76
7.3. Red de sondeos piezométricos: seguimiento del acuífero	80
<hr/>	
<b>8. Buenas prácticas para la gestión y conservación del azufaifar</b>	<b>85</b>
8.1. Mantenimiento y creación de islas de biodiversidad para apoyar la producción agrícola sostenible	86
8.2. Restauración y densificación de poblaciones	86
8.3. Vigilancia y seguimiento periódico de especies invasoras	87
8.4. Narrativas de servicios ecosistémicos para la valorización del azufaifar ante la sociedad	87
8.5. Acciones de conservación en el marco de la directiva marco del agua	89
<hr/>	
<b>9. Referencias</b>	<b>91</b>
<hr/>	
<b>10. Anexos</b>	<b>101</b>
10.1. Anexo 1. Diversidad de especies vegetales	102
10.2. Anexo 2. Diversidad de artrópodos	104
10.3. Anexo 3. Diversidad de reptiles	107
10.4. Anexo 4. Diversidad de aves	107
10.5. Anexo 5. Diversidad de mamíferos	111
<hr/>	
<b>Glosario</b>	<b>112</b>

## PRÓLOGO

El Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar se ha consolidado como un laboratorio natural para profundizar en el conocimiento de la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas áridos del sureste Ibérico. Este hecho se fundamenta en su alto grado de naturalidad, y en la diversidad de ambientes que alberga. Cabo de Gata cuenta con excelentes muestras de fondos marinos, playas y calas bien conservadas, montañas y lomas semiáridas, y planicies interiores y costeras. Estos ambientes son el hábitat natural para una biodiversidad muy singular en el contexto mediterráneo. Un buen ejemplo de ello, son los azufaihares, un hábitat prioritario para la conservación de la biodiversidad, que encuentra la mejor representación de todo el continente europeo aquí.

Cuando solicitamos el proyecto LIFE ADAPTAMED éramos conscientes de la dificultad de enfrentarnos a un nuevo reto en la gestión ambiental trabajando de la mano de la parte científica, con el objetivo de llevar a la práctica la perspectiva de gestión de los servicios ecosistémicos. Tras recorrer el camino, hemos de decir que no ha sido fácil transitar desde las prácticas habituales de gestión y conservación de especies, hacia aquellas cuyo fin es la mejora del funcionamiento de los ecosistemas, ya que implicaba nuevas formas de trabajar en el campo, el levantamiento de nuevo tipo de información ambiental, y la formación no sólo de gestores sino también de empresarios ecoturísticos capaces de hacer suya esta nueva perspectiva. A pesar del enorme desafío, el resultado ha sido magnífico, y podemos decir que el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, junto con los Parques Nacionales de Sierra Nevada y Doñana, están a la vanguardia de la gestión ambiental. Ahora ya no sólo nos preocupa el estado de conservación de las especies y los ecosistemas, sino también, la capacidad de éstos para proveer beneficios a las personas. Esta perspectiva es fundamental para afrontar el reto del cambio climático, y comunicar a la sociedad la importancia de la conservación de la biodiversidad, uno de los retos más importantes en estos tiempos, aportar respuestas a la sociedad acerca del por qué y para qué de la importancia de la conservación de un ecosistema. Sin duda es el camino en el que debemos continuar trabajando de forma conjunta los gestores, científicos y la sociedad.

Con este documento cerramos la colección de manuales que sobre ecosistemas emblemáticos de Andalucía se han producido en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED. Es sin duda una obra necesaria que merecía la pena hacer, y que esperamos tenga buena acogida en los profesionales de la gestión ambiental, y en la sociedad en general. Nuestros azufaihares representan un patrimonio natural que debemos conservar, y puesto que su principal representación europea está en la provincia de Almería, ostentamos la máxima responsabilidad colectiva para ello.

Gracias al trabajo que ha realizado el equipo del Centro Andaluz para el Cambio Global / Hermelindo Castro (ENGLOBA), y sus colaboradores institucionales y empresariales, ahora disponemos de un excelente material que nos permitirá avanzar en los criterios de gestión sostenible de los ecosistemas áridos, y en particular del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar.

**Lucía Tejero Trujeque**  
Directora-Conservadora del Parque Natural de  
Cabo de Gata-Níjar desde 2019 hasta 2024

# INTRODUCCIÓN

Las afecciones al planeta derivadas de las actividades humanas que denominamos en su conjunto como cambio global, resultan particularmente lesivas para los ecosistemas de las zonas áridas. En estas zonas, que representan el 41% de la superficie terrestre (Sörensen, 2007) y albergan al 38% de la población mundial (Reynolds et al., 2007), el desarrollo humano suele estar asociado a un elevado consumo de recursos naturales (agua y biodiversidad) a costa del deterioro de los ecosistemas nativos. El sureste ibérico, un área de ocupación humana milenaria (Puigdefábregas y Mendizábal, 1998), alberga ecosistemas singulares gravemente amenazados en las últimas décadas por los impulsores de cambio global, particularmente, los cambios de uso del suelo (Mota et al., 1996, 2004; Kéfi et al., 2007; Tirado, 2009; Cabello et al., 2015; Mendoza-Fernández et al., 2015). Junto a estos cambios, las manifestaciones del cambio climático, en concreto, la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura en la región Mediterránea, unido a la creciente demanda de agua subterránea para uso humano y agrícola, suponen un gran riesgo para los ecosistemas del sureste Ibérico. Ante esta situación es necesario diseñar nuevas formas de gestión que posibiliten una mejor adaptación de estos ecosistemas al cambio climático, a la par que promuevan una conservación efectiva en un territorio muy alterado por las actividades humanas.



La mejor representación del azufaifar en Europa, se encuentra en la llanura litoral de Torregarcía-Amoladeras

El objetivo fundamental del proyecto LIFE ADAPTAMED ha sido evaluar y atenuar los efectos negativos del cambio climático sobre los beneficios sociales (i.e., servicios ecosistémicos) que proporcionan ecosistemas emblemáticos de tres espacios naturales de Andalucía: Cabo de Gata-Níjar, Doñana y Sierra Nevada. Para ello, y bajo un enfoque de gestión adaptativa, se idearon modelos de gestión para la mejora de la capacidad de adaptación frente a los cambios ambientales de los ecosistemas objetivo. En lo que respecta al Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, el ecosistema sobre el que se enfocaron los esfuerzos ha sido el azufairar, un ecosistema árido de gran valor, cuya mejor representación en el continente europeo se encuentra en este espacio protegido. A lo largo del proyecto se desarrollaron un conjunto de acciones de gestión orientadas hacia la mejora de la resiliencia de este ecosistema basadas en la evidencia científica, a partir de las cuales elaboramos recomendaciones de gestión que pueden ser aplicadas para la conservación de este hábitat prioritario en otros lugares de la Red Natura 2000, o incluso fuera de los espacios protegidos. En este manual realizamos una exposición de tales actuaciones y recomendaciones, y aportamos una revisión sintética del conocimiento existente de este ecosistema, con utilidad directa en su gestión.







02

CARACTERIZACIÓN  
DEL AZUFAIFAR

## 2.1. EL AZUFAIFAR:

### UNA PRIORIDAD PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN EUROPA

*Ziziphus lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae), conocido localmente como azufaifo o arto blanco, es un arbusto espinoso de gran porte, que se distribuye por las zonas áridas del Mediterráneo meridional y la Región Saharo-Arábica (Pérez Latorre y Cabezudo, 2009). Su presencia en la ribera septentrional de la cuenca Mediterránea, donde se restringe al Sureste Ibérico, Sicilia y Chipre (Sánchez-Gómez et al., 2002; Guirado et al., 2018) es muy escasa (Figura 1). Debido a esta singularidad biogeográfica y su reducida área de extensión, las formaciones de *Ziziphus lotus*,

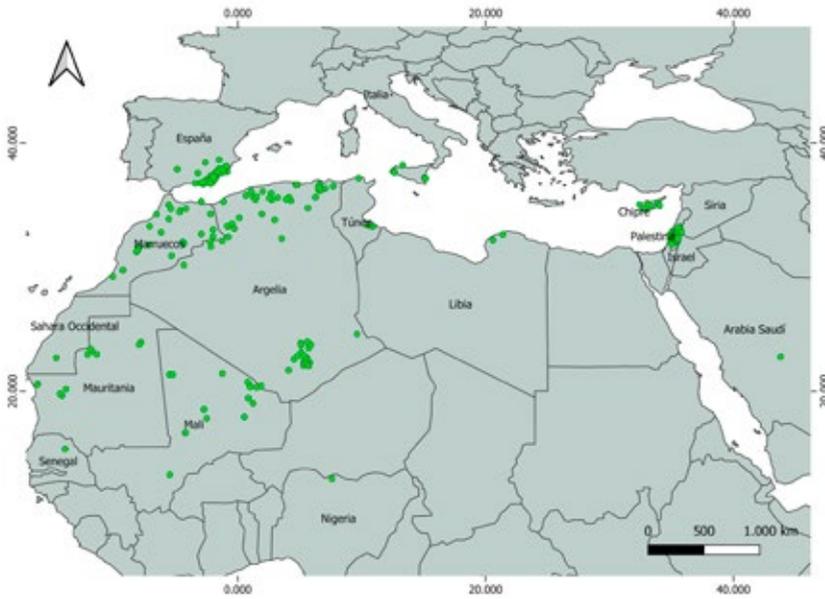


Figura 1. Distribución mundial de *Ziziphus lotus* basada en los registros publicados. En España se consideran autóctonas las poblaciones de Almería y Murcia (Rivas Martínez, 1962; Sánchez-Gómez et al., 1998; Pérez Latorre y Cabezudo, 2009; Charco et al., 2015) donde aparece bastante extendida y bien representada. Algunas poblaciones dispersas en Córdoba (inmediaciones de Medina Azahara y campiña baja cordobesa) son interpretadas como restos de introducciones antiguas (Ruiz de Clavijo y Jiménez, 1990; Herrero, 2013). Sobre el origen de ejemplares aislados en Albacete, Alicante, Granada, Jaén y Valencia se barajan diferentes hipótesis: restos de poblaciones naturales, colonización reciente por movimiento de tierras que introdujera propágulos o antiguo uso como portainjerto del azufaifo cultivado *Z. jujuba* (Ferrer Gallego et al., 2017).



Foto 1. Los matorrales arborescentes de *Ziziphus lotus* (azufaifares) representan un hábitat singular para las zonas áridas de la cuenca Mediterránea por su condición de islas de fertilidad en condiciones ambientales muy duras, cuyo funcionamiento como ecosistemas da lugar a la provisión de importantes beneficios ambientales para la población humana. Foto: Javier Cabello.

son consideradas una prioridad para la conservación de la biodiversidad en la Unión Europea, bajo el nombre de “matorrales arborescentes con *Ziziphus*” (92/43/EEC, hábitat prioritario 5220\*). El valor de conservación de estos matorrales se ve incrementado por el hecho de que representan la estructura de máxima biomasa y desarrollo que podemos encontrar en nuestros paisajes (Foto 1). Además, cuenta con características morfofuncionales que le permiten estar activo durante el verano (Torres-García et al., 2021 b,c), ofreciendo refugio a un gran número de especies durante el periodo más crítico del año para la vida en la región Mediterránea. Todos estos atributos, junto a los servicios ecosistémicos que proveen, y que ahora empezamos a conocer, hacen de las formaciones de *Z. lotus*, los azufaifares, un ecosistema emblemático cuya conservación es un desafío para la sociedad.

### 2.2. BIODIVERSIDAD

#### LA FLORA

El azufaifo forma comunidades con un amplio conjunto de especies vegetales que son propias de la flora semiárida del sureste Ibérico. Sin embargo, para entender en su conjunto esta diversidad vegetal, es preciso considerar la acción de varios filtros ambientales. Por un lado, la escasez y el régimen de precipitaciones, que se concentran en otoño-invierno, y los niveles de evapotranspiración superiores a la precipitación, sobre todo durante el seco y largo verano, generan condiciones de extrema aridez, determinando la presencia de especies adaptadas a la escasez de agua. Por otro lado, gran parte de estas especies llegaron hasta este territorio en el periodo que cubre desde el Mioceno superior (aprox. 12 Ma) hasta el Plioceno superior (aprox. 5 Ma), cuando los continentes europeo y africano estuvieron unidos. Esto permitió el intercambio de especies durante los periodos más cálidos y secos, en los que la Península Ibérica se enriqueció en especies del norte de África y del sureste asiático (Blanca, 1993), tanto de origen subtropical como de zonas más áridas. Estas especies se localizan hoy en las regiones más secas y cálidas de la Península Ibérica, aportando riqueza y singularidad a las comunidades vegetales del sureste ibérico. Finalmente, la influencia del hálito marino es otro rasgo que determina la tipología de flora que acompaña al azufaifo, abundando especies adaptadas a climas de temperaturas suaves y sin heladas.

Entre las especies vegetales del azufaifar hay que diferenciar aquellas que se asocian al interior o el perímetro de las macollas de azufaifo, de las que habitan en la matriz exterior del paisaje. Por un lado, asociadas a las macollas de azufai-fos habitan arbustos de menor tamaño como *Asparagus* spp., *Lycium intricatum*, *Salsola oppositifolia* y *Withania frutescens* y trepadoras como *Rubia peregrina*. Aunque *Z. lotus* suele constituir el estrato arborescente de estas formaciones, en algunas localidades forma comunidades mixtas con *Maytenus senegalensis*, otro arbusto espinoso de gran porte, también de origen subtropical (Rivas Goday y Bellot, 1944; Tirado, 2009). En los barrancos y laderas de las montañas litorales los azufai-fos viven junto a otros arbustos altos como *Chamaerops humilis*, *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus* y *Rhamnus alaternus*, mientras que en las ramblas se asocia a tarajes (*Tamarix* spp.) y adelfas (*Nerium oleander*). Por otro lado, la vegetación dominante en la matriz del paisaje son los tomillares y matorrales en los que son frecuentes especies como *Launaea arborescens*, *Lygeum spartum*, *Macrochloa tenacissima* y *Thymelaea hirsuta*. Además, en los claros del matorral podemos encontrar otras especies de gran interés biogeográfico tales como el azafrán del Cabo (*Androcymbium gramineum*), el chumberillo de lobo (*Caralluma europaea*) y las anuales efímeras de pequeño tamaño como *Ammochloa palaestina* e *Ifloga spicata*, que en Europa sólo se encuentran en el sureste ibérico (Foto 2, Anexo 1).



Foto 2. Flora del azufaifar. De izquierda a derecha: *Androcymbium gramineum*, *Lycium intricatum*, *Cynomorium coccineum*, *Thymus hyemalis*, *Salsola oppotisiifolia* (detalle de las flores), *Salsola oppotisiifolia* (porte), *Thymelaea hirsuta*, *Withania frutescens*. Fotos: Miguel Cueto.

### LA FAUNA

Al igual que la flora, la fauna asociada al azufaifar es en general la misma que habita en las zonas semiáridas del sureste ibérico, si bien se ve favorecida tanto por la cercanía al mar, como por las condiciones de temperaturas y aridez más moderadas que ofrece el azufaifo. Los invertebrados representan el grupo más diverso, como lo muestra el grupo de los gasterópodos terrestres (caracoles) para el que se han descrito al menos diez especies (Moreno y Ramos, 2007). Entre estas especies *Theba subdentata helicella*, *Helicella stiparium* y *Xerosecta adolfi* destacan por su rareza y reducida distribución en las zonas áridas de Almería, mientras que otras como *Theba pisana* y *Otala lactea*, lo hacen por su abundancia, lo que probablemente sea la razón de su tradicional consumo. Entre los artrópodos destacan los coleópteros, himenópteros, lepidópteros, y arácnidos, que en conjunto representan el 70% de las especies de artrópodos del ecosistema (Piñero et al., 2011) (Foto 3). Coleópteros como *Akis discoidea*, *Pimelia baetica* y *Berberomeloe insignis*, característicos de zonas litorales del sureste ibérico, encuentran aquí más del 50% de sus localizaciones. Además, recientemente hemos constatado la presencia del curculiónido minador *Sphincticraerus lethierryi*, estrechamente ligado al azufaifo pues se alimenta de sus yemas florales. Los himenópteros destacan por las complejas interacciones ecológicas que realizan dentro del ecosistema. Entre las familias más representativas de este orden se encuentran *Ichneumonidae*, *Braconidae*, *Mutillidae* y *Formicidae* (Anexo 2), ésta última con especies de gran valor biogeográfico por ser de distribución ibero-magrebí, o endémicas de la Península Ibérica o incluso del Parque Natural y su entorno, como *Goniomma collingwoodi* y *Camponotus amaurus* (Tinaut et al., 2009). Aunque mucho menos abundantes, son también muy reseñables los lepidópteros, orden al que pertenecen elementos exclusivos del azufaifo como *Bucculatrix zizyphella*, *Oshaibahus cf. zizyphi* y *Tarucus theophrastus*, cuyas larvas se alimentan de sus hojas, mostrando una dependencia total del mismo. Para ellas, los azufaifares del Parque Natural de Cabo de Gata-Nijar constituyen el lugar más importante en todo el continente europeo (Tinaut et al., 2009).

Asociados a *Z. lotus* aparecen también algunos arácnidos, que pueden tejer redes, como *Neoscona subfusca*, o ser cazadores activos como las familias *Salicidae*, *Thomisidae* y *Philodromidae* (Cotes et al., 2018). Los más frecuentes son *Argiope lobata* y *Lycosa hispanica*. La primera se caracteriza por su acusado dimorfismo sexual (los machos miden 6 mm y las hembras 25 mm), así como por la presencia de establecimiento en su red. *L. hispanica* es conocida como la tarántula ibérica y sus hembras excavan nidos en el suelo de los que no suelen salir de unos 30 cm de profundidad, y desde donde cazan.

La alta biodiversidad de todos estos grupos ha sido puesta de manifiesto en los muestreos realizados en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED, en los que hemos identificado más de 220 taxones de artrópodos diferentes, de los que



Foto 3. Artrópodos del hábitat de *Ziziphus lotus*. Arriba-izquierda: *Argiope trifasciata*; Arriba-derecha, *Oshaibahus cf. zizyphi*; Debajo-izquierda: *Carpomya incompleta*; Abajo-derecha: *Lhommeia biskraria*. Fotos: Javier Cabello (arriba-izquierda) y Francisco Rodríguez (Faluke) (resto de fotos).

más de 120 se encontraron ligados directamente a *Z. lotus* (muestreos de copa) y 115 habitando en la matriz del matorral disperso (muestreos de suelo). Estos resultados aportan una primera aproximación a la enorme biodiversidad que alberga este ecosistema, que cabe esperar que sea mayor, dado que los estudios solo se realizaron en los meses de primavera.

La diversidad de anfibios del azufaiifar es muy escasa dado el carácter árido de la zona. Solo el sapo corredor (*Epidalea calamita*) coloniza con éxito este hábitat (Foto 4). Se trata de una especie de hábitos nocturnos y muy terrestre, que pasa gran parte del día refugiado en madrigueras de otros animales, bajo piedras e incluso en el interior de los azufaiifos. Tan solo se deja ver durante la época de

reproducción, cuando se hace más diurno y acude a sus lugares de puesta, que suelen coincidir en esta zona con charcas temporales formadas tras las lluvias. Otros anfibios como la rana común (*Pelophylax perezi*) o el sapo común (Bufo bufo) pueden aparecer también, pero solo de manera local y siempre que existan masas de agua estables en la zona, como balsas o arroyos (González-Miras y Nevado, 2008).



Foto 4. Sapo corredor (*Epidalea calamita*). Foto: Emilio González-Miras.

El grupo de los reptiles está especialmente bien representado en este hábitat. En el azufaifar encontramos 17 de las 31 especies presentes en el sur de la Península Ibérica (54,8%), siendo algunas de ellas especialmente abundantes (Anexo 3). Entre los saurios, la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*) (Foto 5), la colilarga (*Psammodromus algirus*) y la cenicienta (*Psammodromus hispanicus*) son las más representativas. La primera es fácil verla alrededor de los azufaifos y esconderse en el interior de estos a la mínima señal de peligro, mientras que las otras dos suelen usar más la vegetación de la matriz circundante. El lagarto bético (*Timon nevadensis*), a pesar de haber sufrido una rarefacción en buena parte de su área de distribución (Carretero y Salvador, 2017), sigue presentando en este hábitat buenas poblaciones. Aquí es frecuente verlo utilizar las madrigueras de conejos como refugio, muchas de ellas situadas a los pies del azufaifo. Otro saurio recientemente introducido es el camaleón común (*Chamaeleo chamaeleon*) (Foto 6), que parece haber encontrado en el azufaifar un hábitat

idóneo, alcanzando en algunas zonas densidades de 25 individuos/ha (datos propios). Entre las serpientes, la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) y la de escalera (*Zamenis scalaris*) son las más frecuentes. Ambas son grandes depredadoras, situándose en lo más alto de la cadena trófica.



Foto 5. Lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*) apareándose en la Rambla de las Amoladeras. Foto: Emilio González-Miras.



Foto 6. Camaleón común (*Chamaeleo chamaeleon*) en el azufaiar de Torregarcía-Amoladeras. Foto: Javier Cabello.

Entre los vertebrados el grupo más diverso es el de las aves. Durante los muestreos realizados en la llanura de Torregarcía-Amoladeras se identificaron 97 especies que fueron clasificadas según su fenología, en residentes (26), invernantes (23), estivales (18) y migradoras u ocasionales (30). También se pudo comprobar que este hábitat es utilizado por 36 de estas especies para su reproducción (Anexo 4). Varias de ellas utilizan el azufaifar de manera directa para alimentarse. Destacan los zorzales (*Turdus philomelos*), que se alimentan de sus frutos y seguramente sean dispersores de sus semillas, mientras que mosquiteros (*Phylloscopus collybita*) y curruacas, en especial la curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), son especialistas en buscar invertebrados entre su enmarañada estructura, sin desdeñar frutos de las especies acompañantes. Aviones, golondrinas y vencejos también forrajean entre los azufaifos en busca de los numerosos insectos voladores que se concentran allí.

El azufaifo también es utilizado por varias especies para instalar sus nidos, pues ofrece una buena protección frente a los depredadores. Destaca el alcaudón meridional (*Lanius meridionalis*) (Foto 7), una especie que ha sufrido un fuerte declive en los últimos años, pero mantiene aún altas densidades en el azufaifar. Es fácil reconocer la presencia de esta especie, ya que aprovecha las espinas del azufaifo para descuartizar presas e incluso almacenarlas, a modo de despensa. Otras especies que se han detectado nidificando dentro del azufaifo son la urraca (*Pica pica*), el mirlo (*Turdus merula*), la curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), el verderón (*Chloris chloris*), el verdecillo (*Serinus serinus*) y el triguero (*Emberiza calandra*), que instala sus nidos a los pies del azufaifo. Un caso curioso es el del críalo (*Clamator glandarius*), una especie parásita de puesta que es fácil ver en la llanura de Torregarcía-Amoladeras en busca de nidos de urraca, donde deposita sus huevos.

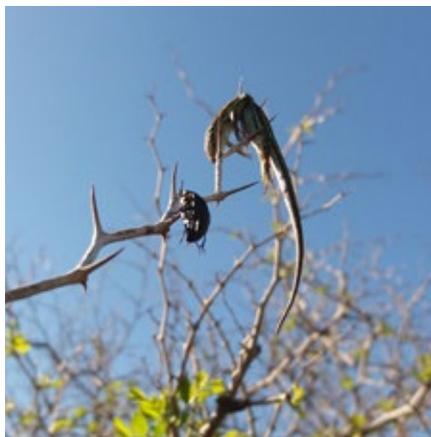


Foto 7. Alcaudón meridional (*Lanius meridionalis*) sobre un azufaifo y presas almacenadas.  
Fotos: Manuel Tapia (izquierda) y Emilio González-Miras (derecha).

La mayoría de las aves, más que el azufaifo en sí, se alimentan y nidifican en el matorral árido que se desarrolla entre las macollas. Son por lo general aves especialistas de medios abiertos, muchas de ellas consideradas esteparias. Como nidificantes, las dos especies más representativas por su abundancia seguramente sean la cogujada montesina (*Galerida theklae*) y el alcaraván (*Burhinus oedicnemus*) (Foto 8). Ambas están presentes todo el año y utilizan los grandes claros que quedan entre los azufaifos para alimentarse e instalar sus nidos. Destacan también con este estatus la curruca tomillera (*Sylvia conspicillata*), el abejaruco (*Merops apiaster*), el chotacabras pardo (*Caprimulgus ruficollis*), la perdiz roja (*Alectoris rufa*) y la collalba rubia (*Oenanthe hispanica*) (Anexo 4).



**Foto 8.** El alcaraván (*Burhinus oedicnemus*) instala sus nidos en las zonas abiertas que quedan entre el azufaifar. Foto: Emilio González-Miras.

Un gran porcentaje de las aves presentes en el azufaifar son invernantes. Nidifican en lugares fríos y acuden a esta zona en búsqueda de climas más benignos durante otoño e invierno. Es el caso de la tarabilla común (*Saxicola rubicola*) o el colirrojo tizón (*Phoenicurus ochruros*), especies que se pueden ver fácilmente encaramados en el azufaifo, que utilizan a modo de atalaya para localizar insectos. También durante otoño-invierno es común observar grandes bandos de passeriformes, por lo general granívoros, que vienen a alimentarse de la gran diversidad de plantas presentes en estos claros. Es el caso de verderones, bisbitas, verdecillos, pardillo común, estorninos y gorriones. De las especies de aves detectadas en los muestreos de seguimiento realizados en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED, la mayoría están protegidas legalmente e incluidas en el

Listado Andaluz de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial o en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas. Destacan entre estas últimas, la alondra ricotí, la ganga ortega (Foto 9) y el sisón, incluidas bajo la categoría de Vulnerable.



Foto 9. La ganga ortega (*Pterocles orientalis*) es una de las aves de mayor interés conservacionista dentro del azufaifar. Foto: Jan Van der Blom.

Hemos detectado 16 especies de mamíferos terrestres en el azufaifar de Torregarcía-Amoladeras (Datos propios y Martínez Oller, 2021) (Foto 10) y, si bien no es un grupo especialmente diverso, sí destaca por su papel clave en el ecosistema (Anexo 5). Es especialmente reseñable el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), que constituye la especie dominante. La naturaleza arenosa del sustrato en esta zona le permite excavar fácilmente en busca de brotes tiernos y construir sus madrigueras, que servirán posteriormente como refugio de otros vertebrados. La abundancia de conejos atrae a sus predadores más comunes, los zorros, muy frecuentes en la zona y el principal dispersor de semillas de *Z. lotus* en la región (Cancio et al., 2017). Mucho más escasos, el tejón (*Meles meles*) y la gineta (*Genetta genetta*) encuentran en este entorno también un hábitat óptimo (Requena-Mullor et al., 2014). El primero aprovecha las madrigueras de los conejos y se alimenta de un nutrido grupo de invertebrados y pequeños vertebrados, así como de los frutos del azufaifo. La gineta tiene una dieta carnívora de pequeños roedores, incluidos los gazapos.

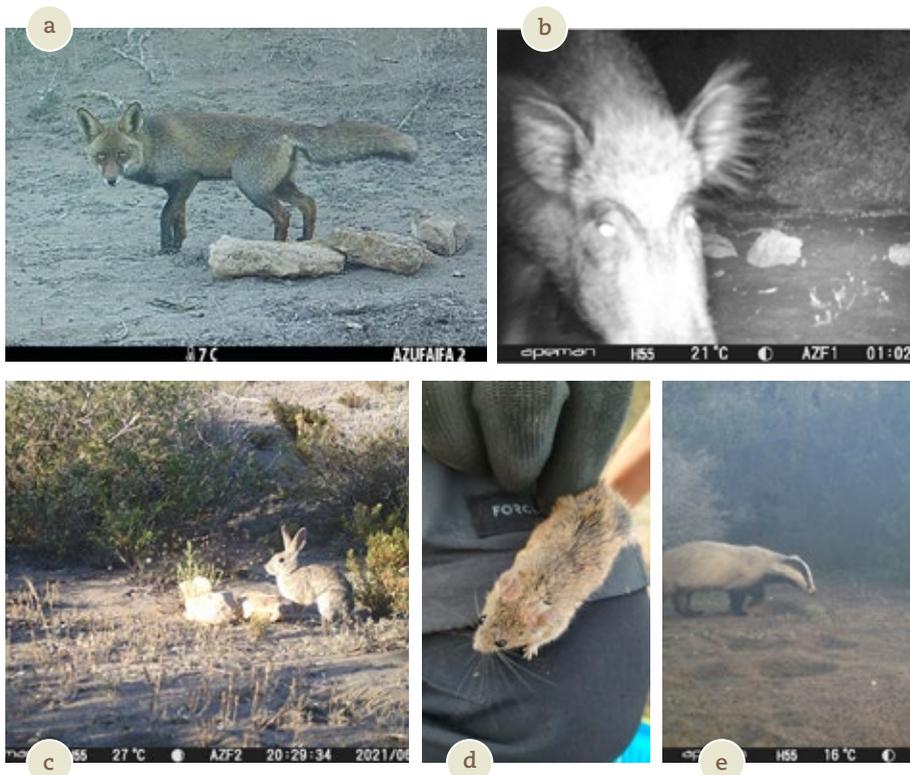


Foto 10. Vertebrados encontrados en el azuzaifar. (a) Zorro común (*Vulpes vulpes*), (b) Jabalí (*Sus scrofa*), (c) Conejo (*Oryctolagus cuniculus*), (d) Ratón moruno (*Mus spretus*) y (e) Tejón (*Meles meles*). Fotos: Martínez Oller (2021).



# 03

## ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL AZUFAIFAR

### 3.1. UN ARCHIPIÉLAGO DE ISLAS DE VEGETACIÓN ARBUSTIVA EN UN OCÉANO DE ARIDEZ

La escasa disponibilidad de agua que caracteriza a las zonas áridas da lugar a paisajes compuestos por parches de vegetación dispersa en medio de una matriz de baja cobertura (Aguiar et al., 1996; Deblauwe et al., 2008). Ambos elementos (parches y matriz) dan lugar a un mosaico de dos fases que caracteriza a los ecosistemas áridos frente a los mésicos. La configuración espacial de este patrón gregario de la vegetación determina la magnitud e intensidad de los procesos ecológicos que tienen lugar a escala de paisaje tales como la productividad primaria (Aguiar y Sala, 1999), las interacciones bióticas (Reynolds et al., 1999; Tirado et al., 2015), y la regulación de los ciclos de nutrientes y agua (Puigdefábregas, 2005). A partir de los estudios de vegetación de las zonas áridas realizados en diversas partes del mundo, conocemos el sentido de algunos patrones y procesos que son perfectamente reconocibles en el azufaifar tales como: a) en las zonas más secas la proporción de superficie ocupada por los parches vegetados es menor; b) el agua de lluvia se distribuye de manera desigual entre las dos fases del paisaje, creando gradientes de humedad entre la



Foto 11. Azufaifar de la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras (Cabo de Gata) donde se observa el patrón disperso de los individuos de *Ziziphus lotus* en una matriz de matorral bajo y suelo desnudo. Foto: ENGLOBALA.

matriz y los parches ocupados por arbustos; c) el hecho de que la vegetación se concentre en parches permite maximizar la productividad primaria en zonas con escasas precipitaciones; y d) la presencia de especies leñosas modifican las condiciones microambientales al moderar las condiciones climáticas extremas, y proporcionar ambientes más mésicos para el resto de las especies.

Los azufaifares son un claro ejemplo de vegetación parcheada, ya que como hemos descrito anteriormente, los individuos adultos de *Ziziphus lotus* dan lugar a macollas de grandes arbustos que se disponen de manera dispersa en una extensa matriz de escasa cobertura vegetal, o incluso de suelo desnudo. Para el caso de la llanura litoral del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (llanura de Torregaría-Amoladeras, que se extiende desde la rambla de Retamar hasta la de Amoladeras), los azufaifos dibujan un paisaje de matorrales arborescentes con ejemplares que pueden alcanzar más de 30 m de diámetro y 4 m de altura de distribución dispersa (Rivas Goday y Bellot, 1944; Guirado et al., 2018). Gracias a técnicas de cartografía avanzada, hemos podido estimar que el número de parches de *Z. lotus* en esta llanura es de aproximadamente 2.000 (1.832), y cubren un total de 221.195 m<sup>2</sup> en dicha zona (Guirado et al., 2018). Ello arroja una densidad media de seis macollas por hectárea, cuyo tamaño medio es de 120 m<sup>2</sup>, si bien oscilan entre 10 m<sup>2</sup> y más de 500 m<sup>2</sup> (Foto 11).



## 3.2. ZIZIPHUS LOTUS: LA ESPECIE INGENIERA DEL ECOSISTEMA

Las especies que modifican los recursos o condiciones limitantes creando un impacto positivo sobre el resto de la comunidad son consideradas “ingenieras del ecosistema”. Este es el caso de *Z. lotus*, una planta cuyos rasgos vitales, morfológicos y fisiológicos permiten que bajo su dosel se desarrolle un ambiente mucho más benigno que el circundante y son la base del funcionamiento del sistema (Figura 2). Entre estos rasgos destacan su arquitectura compleja de tallos y ramas; un profundo y extenso sistema radical que le permite alcanzar el agua disponible en el acuífero; un comportamiento fisiológico basado en el consumo continuo de agua; y un gran aporte de biomasa al suelo debido al gran desarrollo del dosel vegetal en verano y su carácter de caducifolio de invierno. Otras características también de gran interés son su alta capacidad para fijar los sedimentos arrastrados por el viento y generar alimento para otras especies durante gran parte del año. En las zonas costeras o en desiertos de arena, los azufaifos dan lugar a formaciones dunares muy características denominadas *nebkas* (Tengberg y Chen, 1998). En relación con el alimento, el azufaifo florece en mayo y sus frutos maduran en agosto que permanecerán en la planta hasta diciembre, momento en el que caen al suelo, quedando disponibles hasta febrero o marzo (Rey et al., 2018). El conjunto de estos rasgos, y otros de carácter estructural y fisiológico, le confieren capacidad de modificar física y funcionalmente su entorno (Tirado, 2009; Cancio et al., 2016; Torres-García et al., 2022).

Entre estos rasgos destacan su arquitectura compleja de tallos y ramas; un profundo y extenso sistema radical que le permite alcanzar el agua disponible en el acuífero; un comportamiento fisiológico basado en el consumo continuo de agua; y un gran aporte de biomasa al suelo debido al gran desarrollo del dosel vegetal en verano y su carácter de caducifolio de invierno.

La arquitectura *Z. lotus* representa una ventaja adaptativa frente a las condiciones de aridez, y es la base estructural sobre la que crece el conjunto de la comunidad. Dicha arquitectura consiste en un conjunto de brotes y ramas intrincados y espinosos, que repiten un patrón de crecimiento modular (Figura 3). Cada módulo está constituido por dos tipos de brotes (cortos y largos), que difieren en su capacidad de elongación, y por dos tipos de ramas (florales y laterales) que nacen de estos brotes (Torres-García et al., 2021c). Los brotes cortos generalmente dan las ramas sobre las que se disponen la mayoría de las flores, aunque en ocasiones, cuando las condiciones ambientales lo permiten, dan lugar a brotes largos que son la base para el crecimiento, ya que se elongan



Figura 2. Principales características del azufaifo o arto blanco (*Ziziphus lotus*). Es un arbusto espinoso de hasta 4 m de altura, porte hemisférico, tallos y ramas en zig-zag provistas de espinas estipulares y hojas alternas, lampiñas y caducas en invierno, con una alta densidad de estomas en el envés. Posee un sistema radical que se extiende lateralmente y alcanza hasta los 30 m de profundidad en la llanura de Torregarcía-Amoladeras. Sus flores son verde-amarillentas, pequeñas, de corto peciolo, hermafroditas, y están agrupadas en pequeños glomérulos sobre cortas ramas florales. Los frutos, de 1-1,5 cm de diámetro, son drupas rojizas, algo carnosas y comestibles, con 1-2 semillas.

durante toda la estación de crecimiento. Mientras que las ramas florales y las hojas caen con la entrada del invierno, los brotes y las ramas laterales permanecen indefinidamente como estructuras lignificadas (Torres-García et al., 2021c). El resultado es que cada macolla de *Z. lotus* es una estructura hemisférica impenetrable compuesta por multitud de unidades modulares, propia de especies leñosas que han evolucionado en ambientes con alta presión de herbivoría (Charles-Dominique et al., 2016, 2017). De acuerdo a lo averiguado para otras especies que muestran este patrón (Salguero-Gómez y Casper, 2011), la estructura en módulos puede suponer, además, una ventaja para mejorar la concentración de agua y nutrientes en secciones específicas de la planta, limitando la transferencia de los recursos al resto del dosel cuando estos escasean.

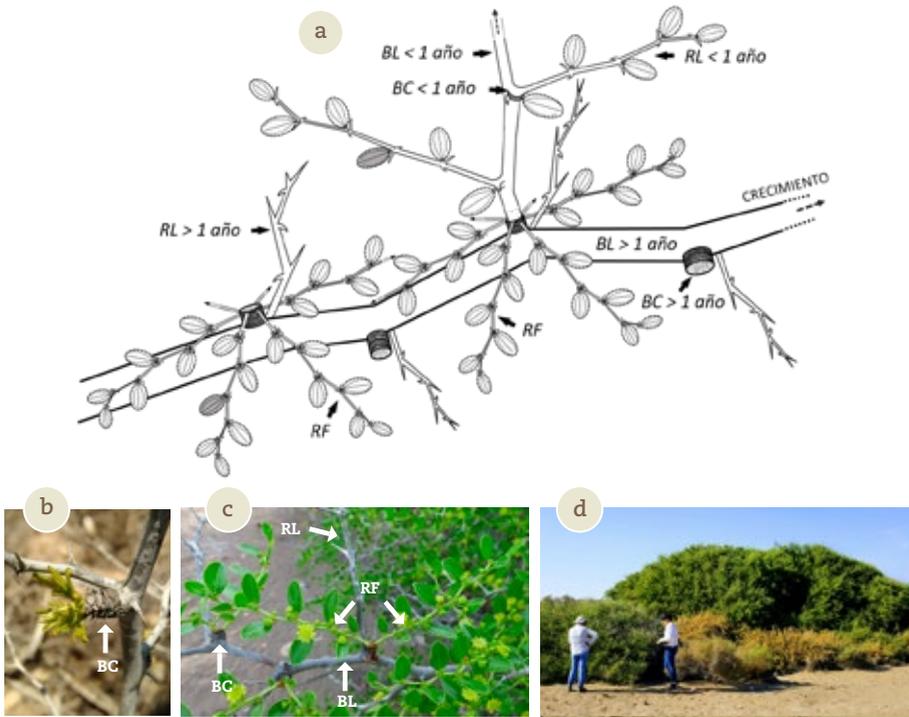


Figura 3. Arquitectura de *Ziziphus lotus*. (a) Esquema de un brote largo (BL) de más de 1 año que muestra los componentes de la unidad modular: brotes cortos (BC), ramas florales (RF), brotes largos (BL) y ramas laterales (RL). Los dos tipos de hojas morfológicamente distintas están sombreados. (b) Detalle de un brote corto con ramas florales incipientes. (c) Detalle de las RF bien desplegadas con yemas y flores. (d) Aspecto general de las plantas de *Z. lotus*: planta de tamaño normal (delante a la izquierda) comparada con el individuo más grande de la zona (detrás). Fotos: María J. Salinas y Javier Cabello. Basado en Torres-García et al. (2021c).

*Z. lotus* es un freatófito facultativo con capacidad de obtener agua del suelo o del acuífero, dependiendo de las condiciones ambientales (Torres-García et al., 2021b). Ello es posible gracias a su arquitectura radical, con raíces profundas (hasta 60 m según Le Houérou, 2006) y otras que se extienden bastantes metros lateralmente, y al hecho de ser una especie anisohídrica (Torres-García et al., 2021b). Este comportamiento fisiológico indica que, a diferencia de las plantas que cierran sus estomas para evitar la pérdida de agua (isohídricas), *Z. lotus* continúa transpirando y fotosintetizando, especialmente en verano, cuando la temperatura y la insolación es máxima. De esta forma, crea un flujo de agua en el continuo acuífero-planta-atmósfera, que es la base de su capacidad para crear un ambiente más cálido en el contexto de aridez en el que se desarrolla (Figura 4). La capacidad de obtener agua subterránea, el grado de anisohidría y, en definitiva, el funcionamiento de *Z. lotus* dependen de las características del agua subterránea (profundidad y calidad), existiendo umbrales de profundidad del agua del acuífero (unos 14 m), en el que el funcionamiento cambia hacia un estado de mayor estrés y optimización del recurso hídrico (Torres-García et al., 2021a, b).

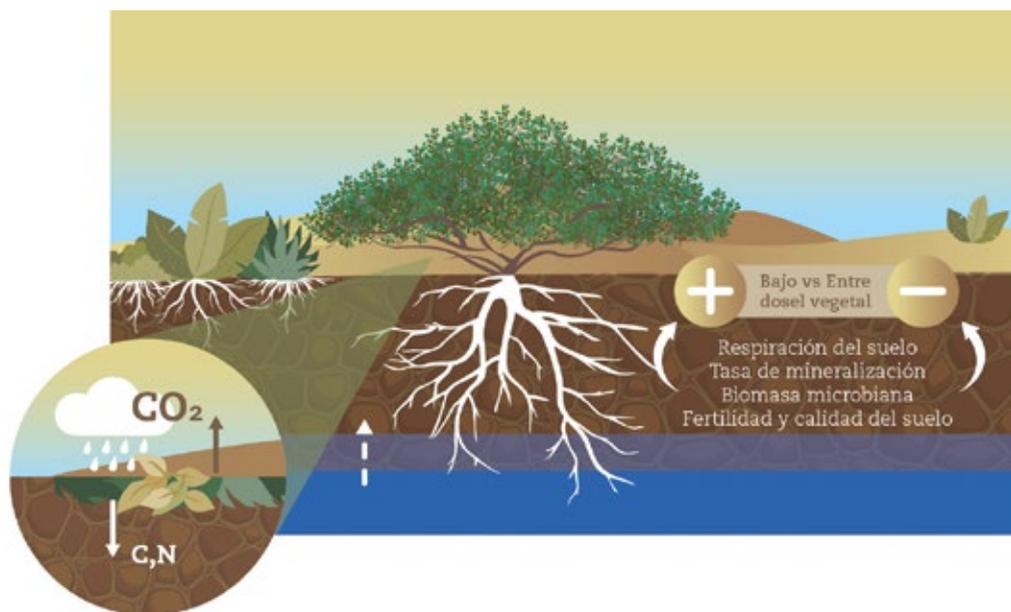


Figura 4. Esquema de funcionamiento de la isla de vegetación que genera *Ziziphus lotus*. Fuente: Torres-García et al. (2022).

### 3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DEL AZUFAIFAR

*Z. lotus* está inactivo de octubre a marzo, momento en el que echa las hojas que permanecen en la planta hasta octubre (Gorai et al., 2010; Torres-García et al., 2021c) (Figura 5). Dichas hojas son de dos tipos (florales y laterales) de acuerdo con su tamaño, funcionalidad, y tipos de ramas en las que se producen (Torres-García et al., 2021c), dando lugar a un fenómeno de heterofilia morfofuncional. Las hojas de las ramas florales son de menor tamaño y presentan menor densidad de estomas, lo que funcionalmente se traduce en una mayor eficiencia en el uso del agua, ya que, a menor densidad de estomas, menor es la capacidad de perder agua a través de la transpiración. Esto representa una adaptación propia de plantas de zonas áridas (Peguero-Pina et al., 2020) que permite al azufaifo un aporte rápido de energía y biomasa en el momento de la floración antes del estrés veraniego. Los estomas representan la puerta que conecta a las plantas con la atmósfera, y son esenciales en la captación de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis (Bucher et al., 2016). En este sentido, las hojas de las ramas laterales presentan mayor densidad de estomas y menor eficiencia en el uso del agua, ya que tienen un papel fundamental en la captación de CO<sub>2</sub> para promover el crecimiento (Torres-García et al., 2021c). Esta heterofilia debe contribuir a la longevidad de *Z. lotus* en ambientes áridos, ya que confiere plasticidad fenotípica frente a la variabilidad en la disponibilidad de agua, algo fundamental para ocupar una posición estable en el espacio durante décadas o incluso siglos, cuando ocupa un microhábitat con mejor acceso al acuífero.

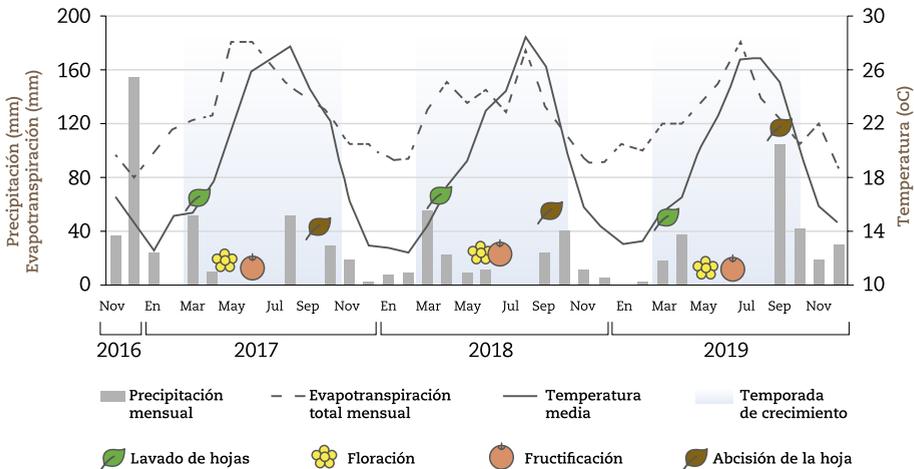


Figura 5. Eventos fenológicos (iconos) y datos meteorológicos (barras y líneas) desde noviembre de 2016 hasta diciembre de 2019 en el azufaifar de Torreregarcía-Amoladeras. Fuente: Torres-García et al. (2021c).

### 3.3. EL AZUFAIFAR: UN ECOSISTEMA DEPENDIENTE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En los ecosistemas áridos y semiáridos, la disponibilidad de agua regula la actividad de crecimiento estacional y la adopción de estructuras y mecanismos fisiológicos de las especies que los habitan. En muchos casos, esta disponibilidad se limita a los eventos de lluvia, lo que representa una verdadera limitación para la productividad primaria neta. Sin embargo, en otras ocasiones este patrón se modifica debido a la presencia de arbustos freatófitos que constituyen una vía de acceso esencial a los acuíferos, dando lugar a ecosistemas dependientes de agua subterránea (Eamus et al., 2006, 2015, 2016). El azufaifo mantiene una intensa productividad en los momentos más críticos del año, ya que su actividad fotosintética y reproductiva coincide con el verano, siendo una de las pocas especies caducifolias con esta fenología en el sureste árido ibérico. Para mantener esta actividad es necesario tener acceso a una fuente de agua, lo que es posible gracias a su extenso (en horizontal) y profundo sistema radical. De hecho, ha sido mencionada como una de las especies del mundo con las raíces más profundas conocidas (Jackson et al., 1996), lo que sin duda le permite explorar un amplio volumen de suelo y alcanzar el nivel freático, siendo capaz

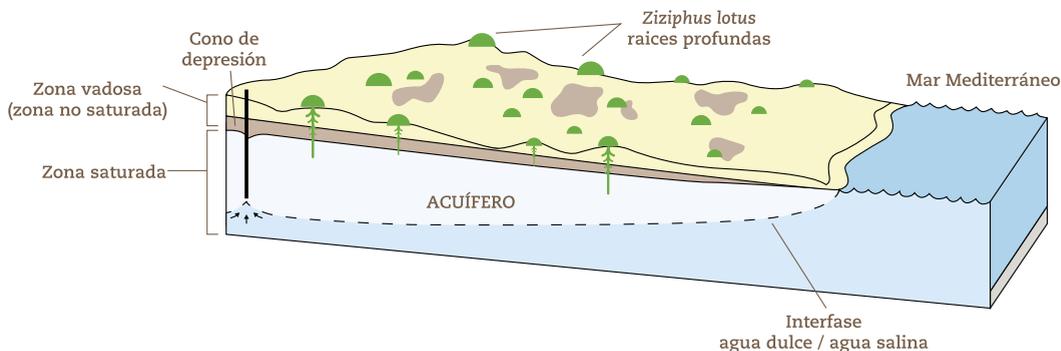


Figura 6. El azufaifar, ecosistema dependiente de aguas subterráneas (GDE, por sus siglas en inglés, Groundwater Dependent Ecosystem) sobre el acuífero de la llanura costera Torregarcía-Amoladeras.

de captar agua a diferentes profundidades (suelo, zona vadosa y acuífero). Los estudios que hemos realizado nos permiten concluir que en gran parte de su área de distribución, *Z. lotus*, como freatófito facultativo y especie ingeniera del sistema, da lugar a ecosistemas de este tipo (Figura 6, Guirado et al., 2018), lo que representa una singularidad tanto desde el punto de vista ecológico y de provisión de servicios ecosistémicos, como de las medidas que hay que adoptar para su conservación.

Las características geológicas de la llanura de Torregarcía-Amoladeras, donde habita la mayor extensión de los azufaifares en el continente europeo, avalan la hipótesis de que se trata de ecosistema que depende para su funcionamiento de las aguas subterráneas (Cuadro 1). Esta llanura es un complejo hidrogeológico situado entre dos ramblas con numerosas fracturas. Su litología y estratigrafía se caracteriza por un sustrato basal del Mioceno-Plioceno superior (5,5-5 Ma), de margas y limos margosos con “lepra”, sobre el que se asientan varias decenas de metros de conglomerados y areniscas del Plioceno-Cuaternario (3-2 Ma). Con frecuencia también hay limos y arcillas intercalados con costras calcáreas fracturadas en la superficie. Los materiales de esta serie sedimentaria pueden tener espesores variables en distintos puntos de la zona de estudio, mientras que los



Foto 12. Macolla de azufaifo y raíces laterales leñosas que han quedado al descubierto en primer plano. Foto: Javier Cabello.



Foto 13. El pozo abandonado en la rambla de Amoladeras indica fuertes descensos en el nivel freático y procesos de erosión a lo largo del tiempo. Foto: Javier Cabello.

plio-cuaternarios (gravas y arenas) son muy heterogéneos tanto en la vertical como en la horizontal, e incluyen eventualmente niveles más lutíticos. En la zona existen dos grandes juegos de fracturas que produjeron fallas de salto en dirección sinistral orientadas aproximadamente  $N43^{\circ}E$  (a veces con un componente vertical), aún activas, y fallas normales orientadas unos  $N150^{\circ}E$  (Goy y Zazo, 1983, 1986; Sola et al., 2007). Ambos juegos compartimentan el medio subterráneo, pudiendo ejercer una influencia tanto en la transmisión de agua como de solutos y, por tanto, condicionando la distribución de la vegetación. El acuífero local es costero, poco profundo, libre y compuesto por gravas y arenas situadas en la zona de descarga al final de dos ramblas. Aunque podría considerarse como la prolongación suroccidental del acuífero principal regional (Hornillo-Cabo de Gata), está separado hidráulicamente por una falla importante (Daniele et al., 2010). En consecuencia, su recarga proviene principalmente de las limitadas precipitaciones locales y de forma insignificante de los retornos de riego y de los acuíferos cercanos (Guirado et al., 2018). La capacidad de retención de agua del suelo es extremadamente baja debido a su escasa potencia y textura franco-arenosa (Chamizo et al., 2015).

#### **Cuadro 1. Historia geológica de la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras**

La Bahía de Almería y su entorno ha constituido durante todo el Plioceno y Cuaternario (desde hace 5,2 millones de años) una gran cuenca sedimentaria, con predominio de materiales depositados en ambientes marinos. Al comienzo del Plioceno el mar ocupaba todas las actuales áreas deprimidas. Hacia el poniente llegaba hasta las laderas de la Sierra de Gádor. Por el Valle del Andarax alcanzaba la localidad de la Rioja y bordeaba Sierra Alhamilla, penetrando por todo el Campo de Níjar, en donde sólo emergía la Sierra de Cabo de Gata y partes de la Serrata de Níjar. El río Andarax, que actualmente desemboca próximo a Almería y en dirección norte-sur, lo hacía en el Plioceno más al noreste, entre Rioja y Viator. Los fuertes relieves que bordeaban la cuenca sedimentaria eran atravesados por ramblas que, como en la actualidad, suministraban materiales detríticos (bloques, cantos, arenas) a la cuenca marina. Durante el Plio-Cuaternario se produjo un levantamiento de la región, que ocasionó un desplazamiento de la línea de costa en dirección sur. Durante el Cuaternario, como consecuencia de los repetidos cambios climáticos, alternancia de períodos fríos glaciales y cálidos interglaciales, el nivel del mar sufrió fuertes variaciones, que llegaron a ser del orden de 130 metros (Braga et al., 2003; Sola, 2012). En la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras, estos cambios se reflejan en una sucesión hacia la costa de playas superpuestas en forma de terrazas marinas, que han sido posteriormente fosilizadas por hasta tres trenes de dunas. Los trenes más antiguos (decenas a miles de años) están más alejados de la costa, y sus dunas se encuentran fosilizadas por la vegetación y estabilizadas, dando lugar al suelo donde se han establecido los azufaiños.



Los estudios que hemos realizados en esta llanura han puesto de manifiesto que los parches de *Ziziphus lotus* muestran un patrón espacial lineal, al estar asociados a las fracturas del terreno (Guirado et al., 2018). Estas fracturas acumulan depósitos de arcilla, un material con mayor capacidad de retención de agua que las arenas y conglomerados (Dekker y Hughson, 2014) y, por tanto, actúan como corredores para acceder a las aguas subterráneas (Colvin et al., 2003). Este hecho quedó confirmado al comprobar que el 61% de las macollas de *Z. lotus* viven a menos de 50 m de dichas fracturas. Sin embargo, puesto que los individuos más pequeños son relativamente más frecuentes cerca de las fracturas que los más grandes, el establecimiento de individuos más grandes y longevos debió ocurrir en periodos históricos con condiciones climáticas más húmedas, cuando la facilitación para el acceso al agua subterránea de las fracturas no era tan crítica para el reclutamiento de los azufaiños. Diferentes metodologías de análisis (teledetección, sondeos eléctricos verticales, isótopos estables) han desvelado el uso del agua del acuífero por parte de *Z. lotus* en Torregarcía-Amoladeras, cuyos rasgos morfofuncionales indican una fuerte dependencia de las formaciones de azufaiñar de las aguas subterráneas (Guirado et al., 2018; Torres-García et al., 2021b) (Figura 4).

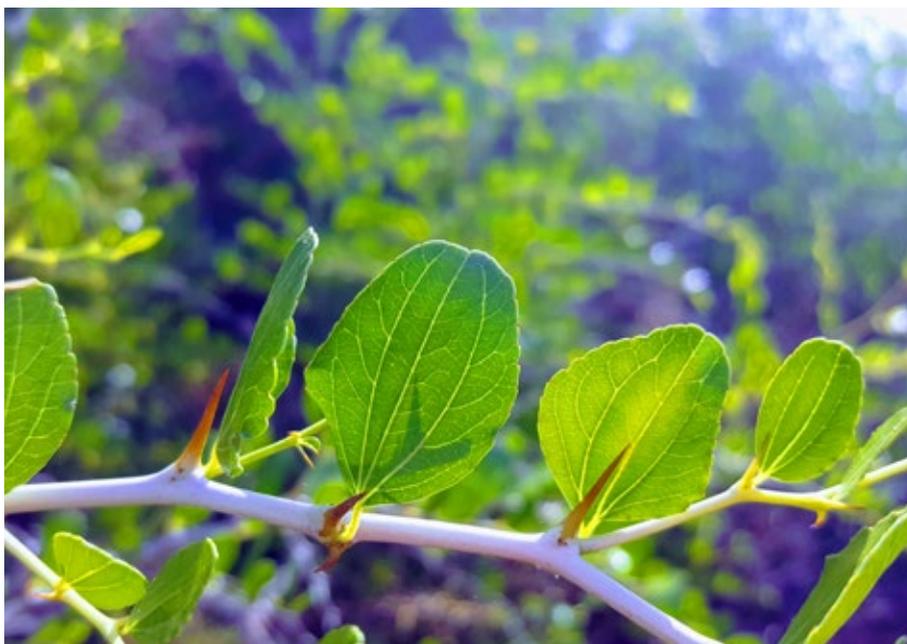


Foto 14. Detalle de las hojas y ramas de *Z. lotus*. Foto: Javier Cabello.



Foto 15. La existencia de ejes de crecimiento en los márgenes de algunas macollas indican la capacidad de reproducción vegetativa en *Z. lotus*. Foto: Javier Cabello.

Aunque aún no se ha estudiado en profundidad, el acceso del sistema radicular de *Z. lotus* al agua subterránea es idóneo para que tengan lugar procesos de redistribución hidráulica que favorezcan tanto a sí mismo como a otras plantas circundantes. Estos procesos han sido descritos para una amplia variedad de ecosistemas, tanto áridos (Kurz-Besson et al., 2006; Nadezhdina et al., 2008; Prieto et al., 2010), como tropicales (Oliveira et al., 2005) o dependientes de aguas subterráneas (Scott et al., 2008). Consiste en el desplazamiento de agua de las zonas más húmedas del suelo y subsuelo hasta las más secas, mejorando la disponibilidad de nutrientes y manteniendo el balance de agua y carbono en el ecosistema (Hultine et al., 2020). No disponemos aún de datos que sustenten que este fenómeno sea relevante en *Z. lotus*, pero sus características morfológicas y funcionales inducen a pensar que gran parte de la facilitación que genera podría estar vinculada a este proceso (Tirado, 2009; Torres-García et al., 2021b), incluso en otras áreas de la región Mediterránea. En zonas de azufaifar de Chipre, se ha demostrado que la labiada *Thymbra capitata* aumenta en densidad y mejora su rehidratación nocturna a mediados del verano (en c. 60 veces) cuando crece alrededor de *Z. lotus* (Constantinou et al., 2021). Además, Torres-García et al. (2021b) observaron que no hay relación entre la concentración de nutrientes (N, P, Cu, Fe) en hojas de *Z. lotus* y la disponibilidad (profundidad) del agua subterránea, lo que indica que su estado nutricional no es peor cuando el acuífero está más profundo. Ambos estudios sugieren que *Z. lotus* podría estar promoviendo la redistribución hidráulica, lo que también reduciría el riesgo de embolismo en raíces en condiciones de sequedad (Domec et al., 2004).

### 3.4. EL SUBSUELO DEL AZUFAIFAR: DONDE LAS ROCAS SE ENCUENTRAN CON LA VIDA

Recientemente se ha propuesto el concepto de “zona crítica”, que proporciona una perspectiva de interpretación de los ecosistemas terrestres más completa que la que teníamos hasta ahora (Ritcher y Billings, 2015). La zona crítica es la capa del planeta que va desde el dosel de la vegetación hasta los acuíferos (Figura 7), y su importancia radica en que en ella tienen lugar las interacciones biogeoquímicas entre las rocas, el suelo, el agua, el aire y los organismos vivos, que regulan la disponibilidad de recursos para la vida (NRC, 2001; Banwart et al., 2013). El estudio de esta zona se percibe cada vez como más relevante porque en ella ocurren procesos geológicos y biológicos esenciales para la vida, que se ven unificados por el transporte de fluidos, con el agua como vector de materia y energía entre la atmósfera y el subsuelo (Phillips et al., 2019). Mientras que los procesos geológicos meteorizan la roca, los biológicos están relacionados con la producción y consumo de energía (Jin et al., 2010; Lin, 2010).

El azufaiifar, por su condición de ecosistema dependiente de aguas subterráneas, y las características morfofuncionales de *Z. lotus* ya descritas, ofrece una oportunidad excepcional para profundizar en la “perspectiva de zona crítica”. Su estudio aportará luz para la comprensión de aspectos fundamentales de la ciencia del cambio global, tales como el impacto del cambio climático sobre los acuíferos, la contribución de las capas subterráneas al balance de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$  y metano), o el desarrollo de aproximaciones interdisciplinarias para comprender el funcionamiento del ecosistema en su conjunto. La red de sondeos piezométricos en la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras, dotados con diversos sensores y asociados al seguimiento ecofisiológico de macollas de *Z. lotus*, que hemos desarrollado en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED, está siendo clave para avanzar en este sentido.

Dado que la zona crítica alberga a la mayoría de los microorganismos de la Tierra, a largo plazo el funcionamiento de esta fina capa de la superficie terrestre está regido por la riqueza en diversidad de organismos, suelos, sedimentos, acuíferos y reacciones de meteorización biogeoquímica (Richter y Billings, 2015). Hasta el momento hemos realizado dos estudios sobre la actividad microbiana subterránea en la llanura de Torregarcía, bajo la perspectiva de zona crítica (Contreras Martínez, 2020; Guillén Sánchez, 2021). Ambos son pioneros en lo que respecta al análisis de la funcionalidad microbiana en las zonas no saturada y saturada del subsuelo del azufaiifar, alcanzando hasta 40 m de profundidad. Los resultados más relevantes se pueden resumir en los siguientes puntos:

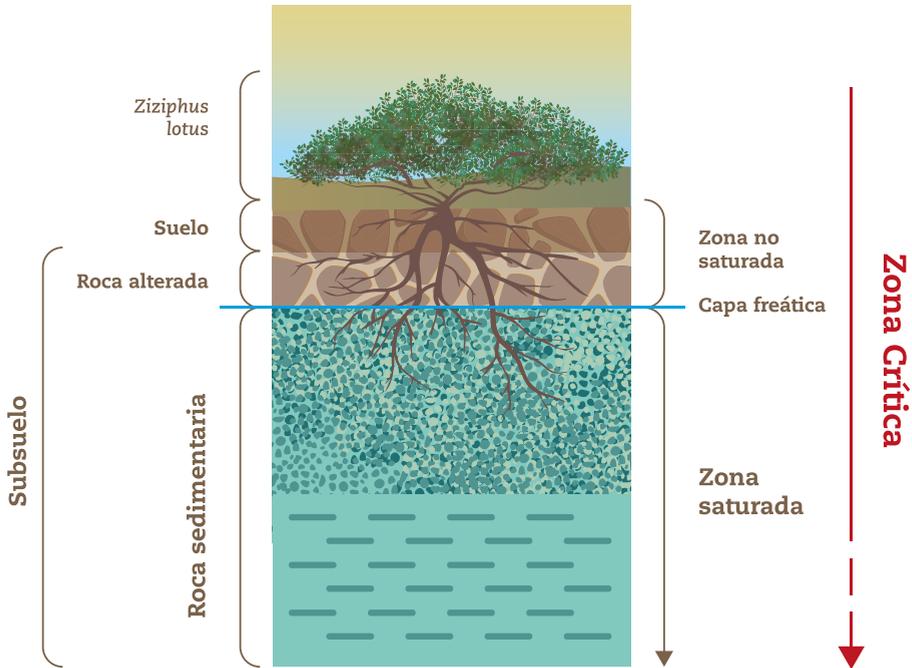


Figura 7. Extensión y características del perfil de la zona crítica terrestre en el azufaifar. La zona no saturada o vadosa se sitúa por encima de la capa freática, aunque pueden existir poros húmedos, saturados o incluso masas de agua descendiendo por gravedad debido a precipitaciones recientes. La zona saturada está por debajo de la vadosa y todos sus poros o fisuras están llenos de agua (acuífero).

- El patrón de distribución vertical de las comunidades microbianas está más determinado por la estructura y composición del perfil geológico que por la vegetación, aunque *Z. lotus* influye positivamente sobre la biodiversidad funcional y las actividades metabólicas microbianas. De hecho, la población bacteriana es más abundante en las zonas cercanas a *Z. lotus*.
- La previsible disminución de la actividad metabólica en profundidad por reducción de recursos, reducción de la complejidad del hábitat y empeoramiento de las condiciones ambientales no responde a lo esperado, ya que la cantidad de materia orgánica y la diversidad de funciones metabólicas microbianas aumentan en la zona saturada (la más profunda y cercana al

nivel freático). Además, debido a la aridez de la superficie cabría esperar una mayor separación de nichos y diversidad de hábitats microbianos entre la zona no saturada (más cercana a la superficie) y la saturada, ya que la disponibilidad de agua, que es el factor que conecta espacios y controla el movimiento de los organismos y nutrientes, es un recurso escaso (Akob y Küsel, 2011) y debe disminuir drásticamente desde el acuífero hasta la superficie. Sin embargo, este patrón no se ha evidenciado.

- Las mayores profundidades de la zona saturada parecen disponer de recursos suficientes como para soportar una actividad microbiana equivalente a la de las áreas edáficas de la zona no saturada.

Aunque los resultados aún son preliminares y queda mucho por conocer sobre la composición y dinámica microbiana de estas zonas, se han obtenido hallazgos de gran interés para avanzar en su conocimiento. Las perturbaciones antrópicas sobre la zona crítica cambian su estabilidad (FAO et al., 2020) y los microorganismos pueden jugar un papel importante como bioindicadores de calidad ambiental debido a su rápida reacción ante cambios adversos, por muy pequeños que sean (Gryta et al., 2014).



Foto 16. Conglomerados de origen cuaternario en las terrazas de la rambla de Amoladeras.  
Foto: ENGLOBALA.



04

CONTRIBUCIONES DEL AZUFAIFAR  
AL BIENESTAR HUMANO

Las contribuciones al bienestar de las personas (llamadas también servicios ecosistémicos) que proporcionan los ecosistemas de zonas áridas han sido muy poco visibilizadas frente a las de otros ecosistemas (e.g., forestales o acuáticos), y casi la mitad de ellas se están degradando o utilizando de manera no sostenible (Cabello y Castro, 2012). Así, existe una necesidad urgente de identificar y poner en valor dichas contribuciones, con el fin de adquirir un mejor conocimiento para el desarrollo de medidas de protección de estos ecosistemas, y comunicar a la sociedad su importancia.

En las regiones áridas y semiáridas, los ecosistemas dependientes de aguas subterráneas son de extraordinaria importancia, ya que mantienen funciones esenciales para la vida incluso durante los períodos de sequía (Murray et al., 2003; Boulton, 2005; Griebler et al., 2014). Este tipo de ecosistemas proporcionan beneficios sociales de gran relevancia tales como el control y mitigación de inundaciones, la mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, la reducción de la erosión,

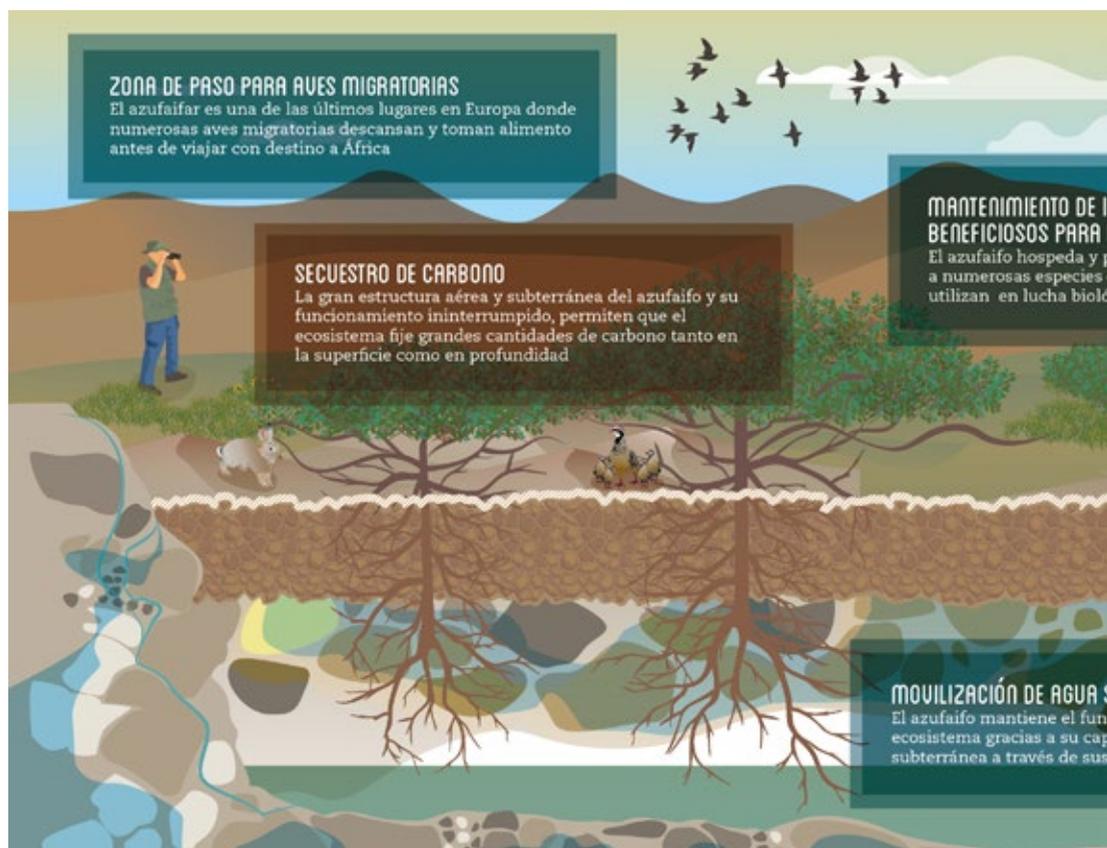
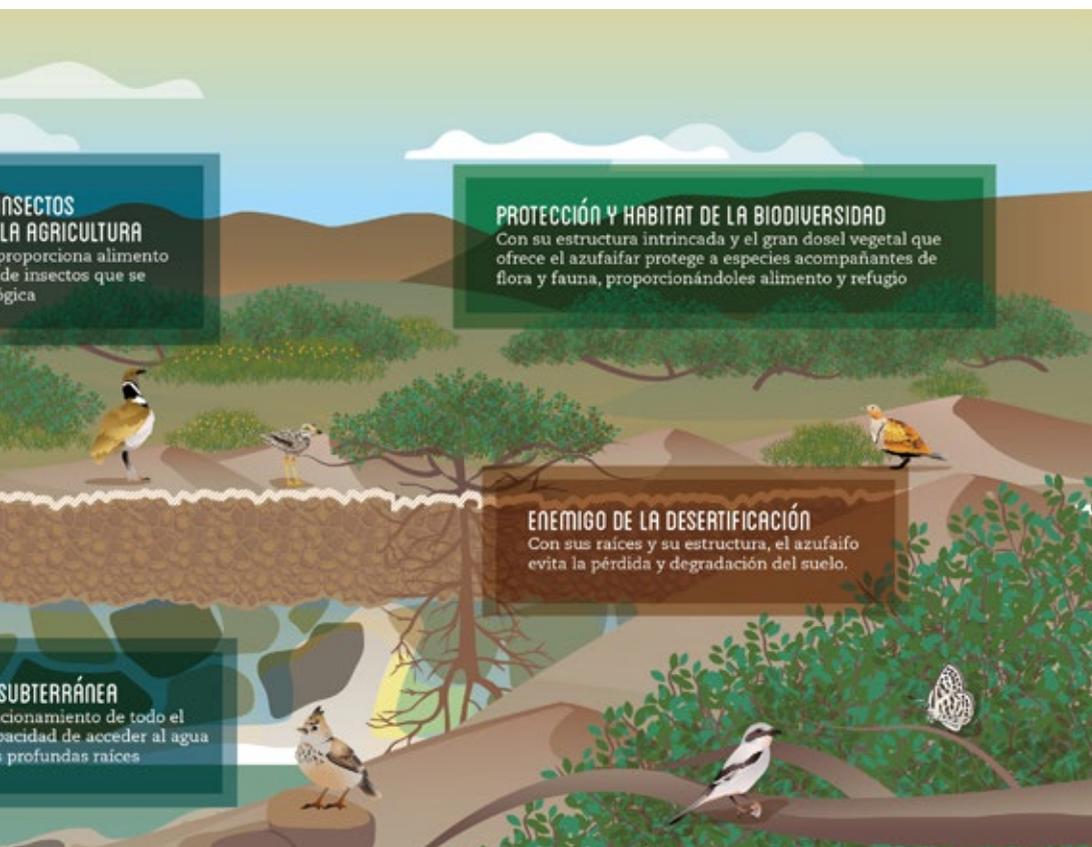


Figura 8. Servicios ecosistémicos del azufaifo.

la disminución del riesgo de deslizamientos de tierra, y la mejora de la infiltración del agua para su almacenamiento en el suelo o la recarga de aguas subterráneas, entre otros (Eamus et al., 2006; Kløve et al., 2011). Además de ello facilitan la supervivencia de múltiples especies que evitan el estrés ambiental bajo el abrigo de los azufaifos (Murray et al., 2006), o bien obtienen el alimento de ellos (Rey et al., 2018).

La importancia del azufaifar estriba en su capacidad para movilizar agua de los acuíferos e incrementar la productividad primaria en los entornos áridos mediterráneos (Torres-García et al., 2021b). Dicha función hace que desempeñe un papel clave en los ciclos del carbono y del agua, contribuyendo así a la provisión de beneficios esenciales. A continuación, se describen las principales contribuciones que proporciona este ecosistema (Figura 8) a la sociedad de acuerdo a los tres grupos principales establecidos por el Panel Intergubernamental Ciencia-Gestión sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (Díaz et al., 2015): materiales, no materiales, y de regulación.



## 4.1. CONTRIBUCIONES MATERIALES

Las contribuciones materiales de los ecosistemas se refieren a las sustancias, objetos u otros elementos materiales de la naturaleza, que sustentan directamente la existencia física y los activos materiales de las personas. Por lo general, se consumen físicamente en el proceso de ser experimentados o usados, por ejemplo, cuando los organismos se transforman en alimento, energía o materiales con fines ornamentales. A partir del conocimiento ecológico tradicional y científico disponible, a continuación, hacemos referencia al papel de los azufaifares proveyendo alimento para las personas y el ganado, y ofreciendo recursos medicinales y bioquímicos.

### ALIMENTO PARA LAS PERSONAS Y EL GANADO

El fruto (azufaifas) de *Z. lotus* es rico en vitaminas de los grupos A, B, C y E, minerales y ácidos grasos esenciales (oleico y elaídico) (Benammar et al., 2010, 2018). Aunque su consumo humano es minoritario en zonas del sureste ibérico, es muy usado en alimentación en los países del norte de África. En estos países las azufaifas suelen ser consumidas frescas o secas, y también se utilizan para elaborar subproductos como harinas, fibras, jugos, almíbares, etc., destinados a otras elaboraciones (e.g., repostería casera, Abdoul-Azize, 2016) y a la fabricación de piensos para el ganado. En el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar el azufaifo representa uno de los pocos recursos disponibles para las abejas y el ganado durante el verano (Foto 17).



Foto 17. Contribuciones materiales del azufaifar. Colmenas entre azufaifos para la producción de miel. Rebaño de ovejas y cabras ramoneando hojas de *Ziziphus lotus*. Fotos: María J. Salinas Bonillo (izquierda) y Emilio González-Miras (derecha).

## RECURSOS MEDICINALES Y BIOQUÍMICOS

Las raíces, tallos, hojas, pulpa del fruto y semillas de *Z. lotus* presentan un alto contenido de compuestos bioactivos como polifenoles, taninos, alcaloides y ácidos grasos, con aplicaciones en medicina tradicional y farmacología. Estos compuestos presentan propiedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, inmunomoduladoras, anti-tumorales y anti-inflamatorias, entre otras (Abdoul-Azize, 2016; Belmaghraoui et al., 2018). Varias investigaciones han estudiado su uso en el tratamiento de diversas enfermedades como bronquitis, abscesos, trastornos gastrointestinales, problemas hepáticos, infecciones cutáneas, del tracto urinario, diabetes, obesidad, quemaduras, insomnio, e incluso en prevención frente a la COVID-19 (Bekkar et al., 2021; Berrichi et al., 2021; Chaachouay et al., 2021; Tlili et al., 2021).

En cuanto a los usos industriales, se ha demostrado la utilidad de las cáscaras de semillas de *Z. lotus* (Figura 18) para la producción de bio-adsorbentes con aplicación para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil (El Messaoudi et al., 2021a, b). También se ha testado el uso del extracto de esta cáscara como inhibidor de la corrosión de metales como el cobre en ambientes ácidos, entre otros (Jmiai et al., 2018).



Foto 18. Frutos de *Ziziphus lotus*. Foto: Emilio González-Miras.

## 4.2. CONTRIBUCIONES DE REGULACIÓN

Las contribuciones de regulación se refieren a aspectos funcionales y estructurales de la biodiversidad que modifican las condiciones ambientales experimentadas por las personas y regulan la generación de contribuciones materiales (alimentos, medicinas, etc) y no materiales (sentido de pertenencia, disfrute espiritual, etc). Las contribuciones de regulación afectan a la calidad de vida de las personas de manera indirecta. Por ejemplo, las personas disfrutan directamente de plantas útiles o hermosas, pero se benefician indirectamente de los organismos del suelo que son esenciales para el suministro de nutrientes a dichas plantas.

### ISLAS DE BIODIVERSIDAD

Las macollas de azufaifos originan las condiciones ecológicas necesarias para numerosos organismos de otras especies, que encuentran aquí un microclima más favorable que el dominante en su entorno, la posibilidad de establecer interacciones con otras especies, o una concentración de recursos tróficos donde alimentarse. Por este motivo se dice que dichas macollas constituyen verdaderas islas de biodiversidad, ya que aumentan la heterogeneidad del paisaje en su conjunto, dando lugar a un incremento de la biodiversidad. Un buen ejemplo es lo que ocurre con el grupo de los artrópodos (la mayoría insectos) que viven en la copa de los azufaifos, para los que estamos encontrando valores de diversidad muy altos (Tabla 1). Los azufaifos florecen al inicio del verano, cuando el resto de la vegetación comienza ya a agostarse, y atraen a gran cantidad de insectos herbívoros que encuentran en *Z. lotus* un lugar donde refugiarse y con recursos. Asociadas a estas especies, aparecen también sus depredadores, dando como resultado una compleja red trófica sostenida por una gran diversidad de especies. Los datos de los que disponemos hasta ahora en muestreos realizados en 22 macollas de *Z. lotus* durante 3 años (Tabla 1), nos han permitido identificar 279 taxones. El promedio de taxones por macolla osciló entre 9'3 y 20'7, lo que teniendo en cuenta el elevado número de taxones totales encontrado, indica una significativa variabilidad espacio-temporal en las poblaciones de insectos, y la importancia de proteger los parches de vegetación nativa del sureste ibérico que aún persisten, para conservar esta enorme diversidad. Cabe destacar que, en cada muestreo realizado, se identificó un promedio de 124'7 taxones diferentes.

Macolla de <i>Z. lotus</i>	2017		2018		2019		Promedio por macolla
	Junio	Julio	Junio	Julio	Junio	Julio	
1.1	21	3	9	6	19	20	13,0 ± 7,9
1.2	28	8	18	9	23	11	16,2 ± 8,2
1.3	31	7	6	5	21	20	15,0 ± 10,6
1.4	27	3	10	3	16	9	11,3 ± 9,1
1.5	31	9	13	8	18	9	14,7 ± 8,8
1.6	14	8	18	6	10	16	12,0 ± 4,7
2.1	13	14	43	7	22	13	18,7 ± 12,8
2.2	31	9	35	13	22	14	20,7 ± 10,5
2.3	22	13	7	14	13	22	15,2 ± 5,8
2.4	24	4	22	10	19	10	14,8 ± 8,0
2.5	15	18	26	15	10	23	17,8 ± 5,8
2.6	19	6	37	14	13	25	19,0 ± 10,9
2.7	14	5	18	8	8	12	10,8 ± 4,7
2.8	11	7	16	13	18	12	12,8 ± 3,9
3.1	9	12	10	10	13	14	11,3 ± 2,0
3.2	15	11	23	9	14	23	15,8 ± 6,0
3.3	19	7	28	12	12	27	17,5 ± 8,6
3.4	14	9	21	8	21	22	15,8 ± 6,4
3.5	35	17	22	3	23	12	18,7 ± 10,9
3.6	9	3	8	6	17	13	9,3 ± 5,0
3.7	17	11	15	8	9	12	12,0 ± 3,5
3.8	15	18	27	13	20	7	16,7 ± 6,8
<b>Promedio</b>	<b>19,7 ± 7,8</b>	<b>9,2 ± 4,7</b>	<b>19,6 ± 10,1</b>	<b>9,1 ± 3,6</b>	<b>16,4 ± 4,8</b>	<b>15,7 ± 5,9</b>	<b>15,0 ± 3,1</b>
<b>Riqueza total</b>	<b>119</b>	<b>132</b>	<b>125</b>	<b>107</b>	<b>121</b>	<b>144</b>	<b>124,7 ± 12,5</b>

Tabla 1. Número de unidades taxonómicas de artrópodos morfológicamente diferentes (morfoespecies) halladas en muestreos de copa en 22 macollas de *Z. lotus* en los meses de junio y julio durante 3 años (2017, 2018 y 2019).



Foto 19. En verano, cuando todo el entorno se encuentra agostado, el azufaifo proporciona recursos atrayendo, sobre todo, a multitud de insectos. Fotos: Emilio González-Miras.

### CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS Y POLINIZACIÓN

Entre los diversos servicios ecosistémicos que proporciona *Z. lotus*, cabe destacar la abundancia de enemigos naturales de plagas que alberga y que pueden ser empleados para mejorar los trabajos de control biológico que se emplean en la agricultura intensiva (Figura 20). Hasta el momento hemos constatado la presencia de depredadores de trips y de mosca blanca, como *Orius laevigatus* (con presencia en el 82% los muestreos realizados durante el proyecto) y *Nesidiocoris tenuis*. También son frecuentes en las macollas de azufaifos depredadores más generalistas, como las larvas de crisópidos y coccinélidos. Asimismo, presenta una elevada diversidad de insectos parasitoides, con representantes de las familias Ichneumonidae, Pteromalidae, Aphelinidae y Braconidae, entre otras. Además de los insectos mencionados, el azufaifo también da cobijo a arácnidos tales como *Neoscona subfusca*, saltícidos, oxiópodos, tomísidos y pseudoescorpiones, todos ellos depredadores. El uso de estos organismos, en las condiciones adecuadas, como control biológico de plagas supone una disminución del uso de fitosanitarios y una producción sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Es por ello que el mantenimiento de vegetación natural

en el entorno de los cultivos de invernadero no sólo sería una medida efectiva de conservación de los matorrales arborescentes de *Z. lotus*, sino también una barrera natural para los enemigos de las plagas. Además, entre la diversidad de insectos que habitan en el azufaifar también abundan los polinizadores, que facilitan el movimiento del polen en el paisaje, lo que es beneficioso, no solo para el mantenimiento del ecosistema, sino también para los cultivos.



Foto 20. Artrópodos útiles como control biológico en agricultura asociados a las islas de vegetación de *Ziziphus lotus*. Depredadores: a) *Orius laevigatus*, b) Larva de crisópido y c) *Nesidiocoris tenuis*. Parasitoides: d) Ichneumonidae, e) *Encarsia formosa* y f) Braconidae. Fotos a, b y c: Francisco Rodríguez (Faluke). Fotos d, e y f: ENGLOBALA.

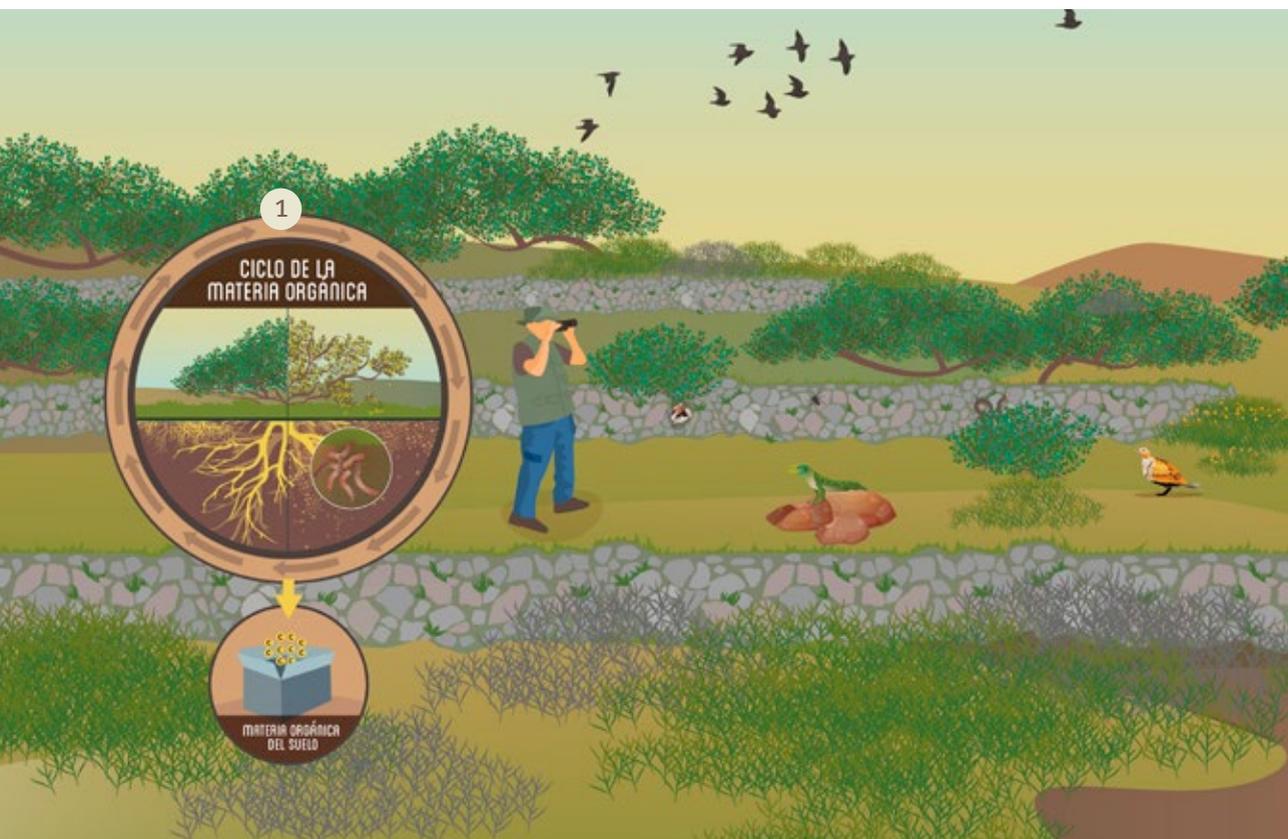
## SECUESTRO DE CARBONO

La capacidad que tienen los ecosistemas para almacenar y secuestrar carbono a través de la fotosíntesis es el principal proceso de que disponemos para la mitigación del cambio climático. Este proceso es mucho más eficiente cuando el carbono incorporado es almacenado en las estructuras de las plantas leñosas o se incorpora al suelo en forma de materia orgánica, ya que de esta manera desaparece de la atmósfera durante décadas o siglos (Figura 9.1). Las características de *Z. lotus* tales como su alta longevidad, su capacidad de formar gran cantidad de biomasa leñosa, tanto aérea como subterránea, y su papel en la

formación de islas de fertilidad, convierten a este ecosistema en una reserva de carbono orgánico de gran importancia en el contexto de las zonas áridas. Los azufaifares aportan una gran cantidad de materia orgánica al suelo, lo que contribuye a que los procesos de mineralización (Torres-García et al., 2022) y secuestro de carbono en el suelo ocurran a una tasa superior a la de otros ecosistemas semiáridos no dominados por *Z. lotus*.

### REGULACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO

Los ecosistemas son los responsables de la purificación del agua a partir de la combinación de factores físicos, químicos y biológicos que permiten la fijación de nutrientes y la dilución de contaminantes, garantizando la calidad y disponibilidad del recurso hídrico para diferentes usos. *Z. lotus* posee un papel muy particular en la movilización del agua desde capas profundas del suelo a las



más someras, gracias a su extenso sistema radical y a su capacidad constante de evapotranspiración. Esto contribuye a aumentar la humedad del suelo y probablemente a poner agua a disposición de otras especies vegetales y animales mediante levantamiento hidráulico (Figura 9.2).

## FORMACIÓN, PROTECCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN DEL SUELO: ISLAS DE FERTILIDAD

Esta contribución se refiere al papel de la vegetación y los microorganismos edáficos asociados (Figura 9.3), en la retención de sedimentos y control de la erosión, la formación de suelo, y el mantenimiento de la estructura y procesos tales como la descomposición de la materia orgánica y el ciclado de nutrientes. Las especies vegetales y animales que habitan en el azufaifar contribuyen a la formación y al mantenimiento de estos procesos. Concretamente, *Z. lotus*

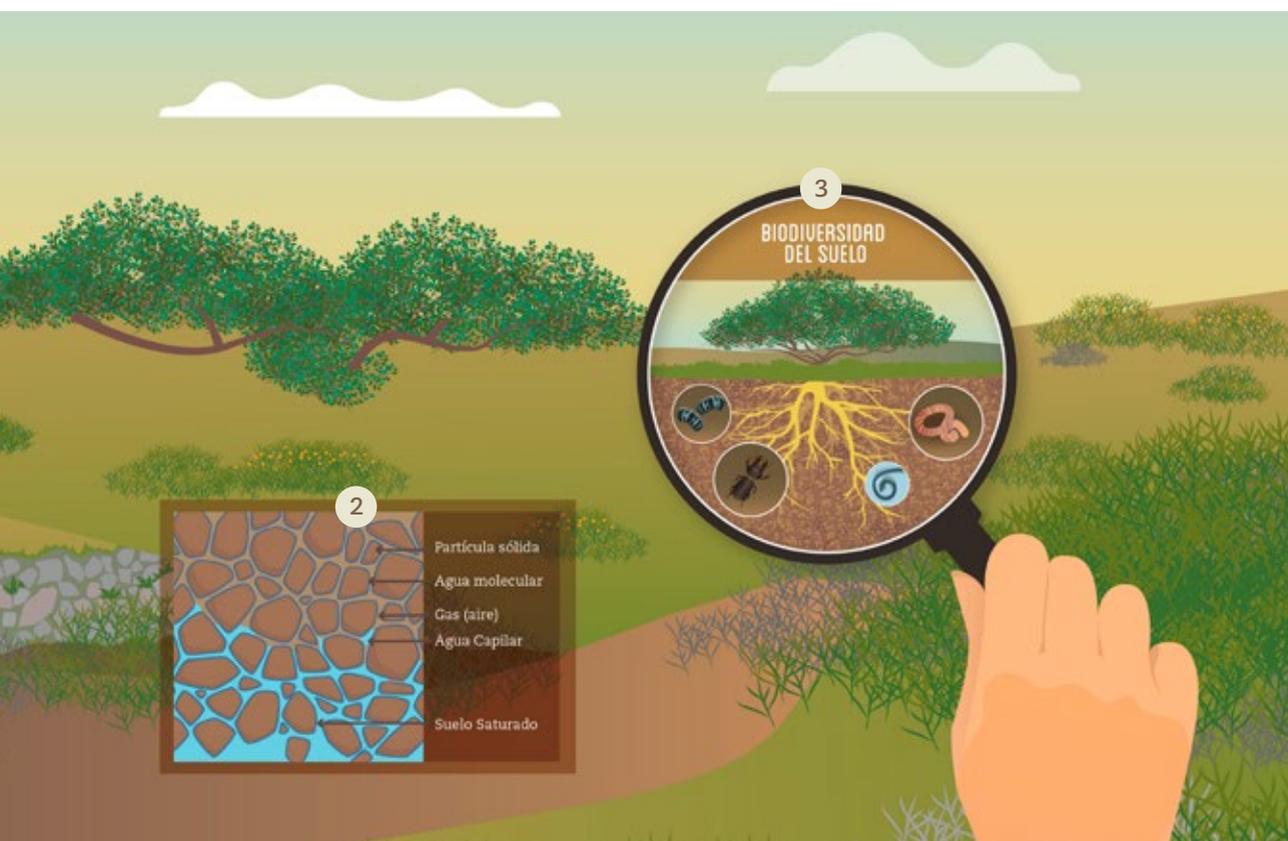


Figura 9 (1, 2 y 3). Contribuciones de regulación del azufaifar.

favorece las propiedades físico-químicas del suelo a través de la incorporación de grandes volúmenes de materia orgánica cuando pierde la hojas en otoño (Torres-García et al., 2022). Cuando esta materia orgánica se mineraliza, ello representa un gran aporte de nutrientes al suelo, convirtiendo a los parches de vegetación en verdaderas islas de fertilidad. Por otra parte, en zonas arenosas, *Z. lotus* actúa frenando los procesos de erosión eólica, reteniendo grandes cantidades de arena y materia orgánica bajo su dosel, y dando lugar a unas formaciones dunosas características de muchas zonas desérticas, llamadas *nebkas*. También es común encontrar azufaifares en ramblas, donde ejercen un importante papel en el control de las avenidas.

### 4.3. CONTRIBUCIONES NO MATERIALES

Las contribuciones no materiales son los efectos de la naturaleza en aspectos subjetivos o psicológicos que mejoran la calidad de vida de las personas, tanto individual como colectivamente. Este tipo de contribuciones son fácilmente percibidas en el caso de los bosques o arrecifes de coral, que brindan oportunidades de recreación e inspiración, o animales y plantas particulares que son la base de experiencias espirituales o de cohesión social. Sin embargo, y probablemente como consecuencia de la declaración de áreas protegidas como el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, los ecosistemas áridos son cada vez más apreciados por su contribución al esparcimiento, el turismo, o la inspiración.

#### DISFRUTE RECREACIONAL FÍSICO Y PSICOLÓGICO

El contacto con la naturaleza es positivo para las personas debido a nuestra tendencia innata a relacionarnos con la vida y los procesos naturales, un fenómeno denominado biofilia. Además, provoca efectos psicológicos beneficiosos al inducir emociones positivas y renovar recursos cognitivos agotados, y reduce el estrés debido a las respuestas fisiológicas que se desencadenan cuando entramos en contacto con la biodiversidad (Sudimac et al., 2022). Estos beneficios se materializan en la medida en que las personas pueden realizar actividades de recreación pasiva o activa en entornos naturales. Los paisajes dominados por azufaifares proporcionan oportunidades para el desarrollo de actividades física y psicológicamente beneficiosas basadas en el contacto estrecho con la naturaleza, vinculadas al disfrute estético, la relajación, el ocio, el deporte o el turismo. Así, por ejemplo, la llanura de Torregarcía-Amoladeras es un lugar muy frecuentado por personas que buscan disfrutar del ejercicio físico o el paseo en espacios naturales. Por otro lado, los azufaifares en buen estado de con-

servación albergan una avifauna de gran interés para el turismo científico y el ecoturismo. A pesar de su reducida superficie (el 8% de Parque Natural), la zona del azufaifar es muy frecuentada para actividades de ocio (Tabla 2).

Actividad	Cabo de Gata		Torregarcía-Amoladeras	
	Nº rutas	Densidad (rutas/km <sup>2</sup> )	Nº rutas	Densidad (rutas/km <sup>2</sup> )
Senderismo y similares	5.167	13,8	77	2,6
Deportes en bicicleta	4.463	11,9	52	1,7
Actividades de deporte al aire libre	9.630	25,7	159	5,3

Tabla 2. Número de rutas encontradas para diferentes actividades de ocio al aire libre en Wikiloc filtrando por “Cabo de Gata” y “Amoladeras (Cabo de Gata)” (diciembre de 2021).

## APRENDIZAJE E INSPIRACIÓN

El paisaje del azufaifar también fomenta el desarrollo de capacidades que permiten a las personas prosperar a través de la generación de conocimiento científico, la educación, y la inspiración para la creación artística. Así, los azufaifares proporcionan un marco que está favoreciendo la producción de conocimiento científico sobre la biodiversidad que albergan, los procesos y funciones ecosistémicas que tienen lugar en ellos, y la provisión de servicios ecosistémicos en zonas áridas (Foto 21). A su vez, la transferencia de este conocimiento científico permite el aprendizaje y la educación ambiental de la población en torno al funcionamiento de estos ecosistemas en ambientes semiáridos, y su sensibilización sobre los principales factores que les amenazan. Un ejemplo en este sentido ha sido la “Ruta de Cambio Climático” vinculada al azufaifar en la llanura de Torregarcía-Amoladeras que elaboramos a partir de procesos de transferencia social del conocimiento (López-Rodríguez et al., 2020). Se trata de un itinerario ecoturístico orientado a poner en valor el hábitat de *Z. lotus* dando a conocer el papel de la vegetación como mediadora en el impacto del cambio climático sobre los acuíferos (Cuadro 2). Finalmente, cabe destacar que estos paisajes son inspiración para artistas locales y foráneos.



Foto 21. Instantáneas tomadas en la inauguración de la Ruta de Cambio Climático. Foto: María J. Salinas Bonillo.

## Cuadro 2. La Ruta del Cambio Climático en la llanura litoral de Torregarcía-Amoladeras

Se trata de una ruta diseñada a partir del trabajo colaborativo de 85 actores sociales (científicos, gestores, educadores, empresarios, senderistas,...), con el fin de dotar a la sociedad de una narrativa sobre el impacto del cambio climático sobre los ecosistemas de zonas áridas y los servicios que éstos proveen. La ruta comienza en el Centro de Visitantes de Las Amoladeras. A lo largo del itinerario se presentan las funciones y servicios ecosistémicos que caracterizan al azufaifar. La ruta está dotada de 10 códigos QR sobre postes de madera que el caminante puede escanear y que llevan al usuario a infografías y mensajes (<https://centroandaluzengloba.org/ruta-cambio-climatico/>) que fueron considerados esenciales por los actores sociales, para comprender cómo funciona este ecosistema. Los mensajes que se presentan en ella son:

1. ¿Dónde está el agua?
2. ¡Extra! ¡Extra! ¡Última noticia! Descubierta un iceberg en pleno verano
3. Por un puñado de estomas
4. Encuentros en el antropoceno
5. Bio-Isla, mejora con una amplia gama de servicios
6. La alarma del acuífero está conectada
7. Maquinaria trabajando
8. Cuando éramos tropicales
9. Cuando la tierra se mueve
10. Eres un animal







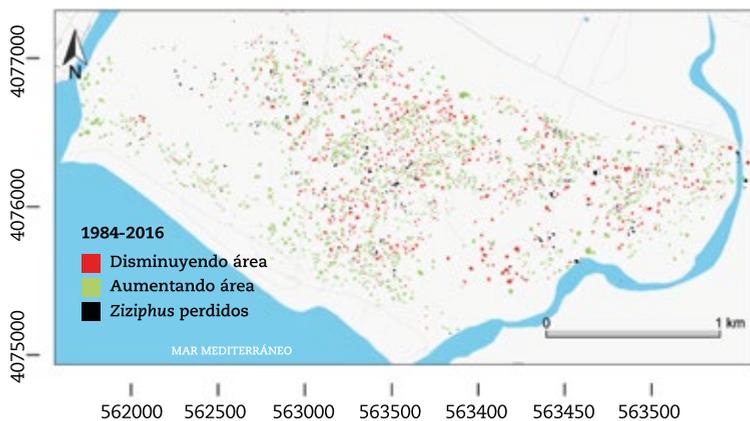
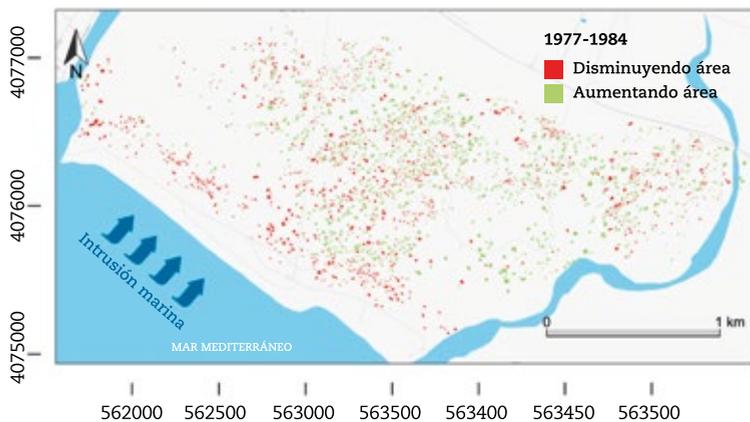
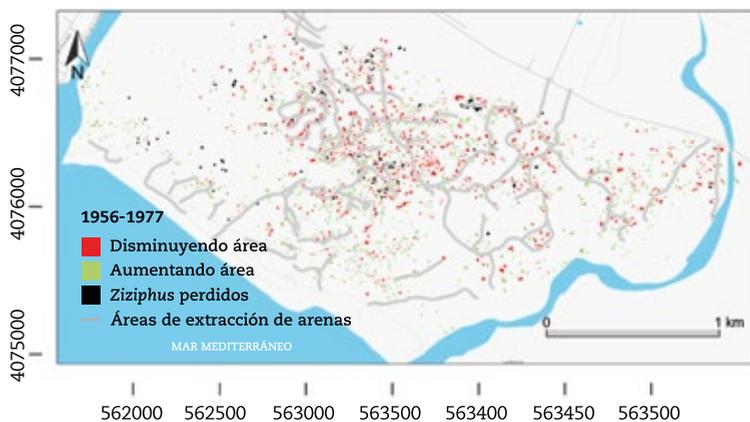
05

**AMENAZAS SOBRE LOS  
AZUFAIFARES**

### 5.1. CAMBIOS DE USO DEL SUELO

Los matorrales de *Ziziphus lotus* han experimentado en las últimas décadas un gran retroceso en el sureste ibérico, como consecuencia de los cambios de uso del suelo. La expansión de la agricultura intensiva, tanto por la ocupación física del territorio, como por la extracción de arenas y aguas subterráneas (Figura 10) y la urbanización han supuesto una reducción y fragmentación extrema del hábitat, que actualmente ocupa sólo el 5% de lo que ocupaba hace tan sólo 60 años. Esta presión es de particular importancia, ya que la fragmentación del hábitat representa un obstáculo para la llegada de polinizadores y la capacidad de dispersión de los propágulos, así como la eliminación directa de individuos adultos reproductivos y de lugares apropiados para el reclutamiento de juveniles. Además, la sobreexplotación de los acuíferos asociada a los nuevos usos agrícolas supone una alteración de las masas de agua subterránea de las que depende el hábitat. Las extracciones de agua subterránea para el riego de invernaderos han aumentado en las últimas décadas, lo que ha provocado un descenso del nivel piezométrico en más de 5 m en la zona sur y de 30 m en la zona norte en el acuífero principal (Hornillo-Cabo de Gata) (García García et al., 2003). Como resultado de estas elevadas extracciones y la disminución de la recarga debido a la captación del agua de lluvia también para el riego de los invernaderos, se ha producido la intrusión de agua de mar en localizaciones costeras del hábitat potencial del azufaifar (García García et al., 2003). A estas presiones habituales, se suma ahora la ocupación de grandes extensiones por plataformas solares que se instalan también sobre áreas idóneas para el azufaifar. La tendencia actual es situar estas instalaciones en aquellos lugares que no han sido destinados a la agricultura intensiva, donde precisamente quedan los únicos reductos del hábitat.

Figura 10 (página siguiente). Diferencias en la cobertura de macollas de azufaifos en la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras en tres periodos caracterizados por diferentes tipos de intervención y presión de las actividades humanas. A lo largo de este periodo la extracción masiva de arenas (1956-1977) afectó negativamente a la población de *Z. lotus*, bien reduciendo el tamaño de las macollas, o eliminando individuos por procesos directos de extracción de la arena. Posteriormente, la intrusión de agua de mar como consecuencia de la explotación del acuífero influyó en la cobertura y estructura de los arbustos cercanos a la línea de costa, afectando negativamente a los arbustos más pequeños en su mayoría. Finalmente, la protección legal de la zona con la declaración del Parque Natural de Cabo e Gata-Níjar y la designación de la llanura como área de reserva (1987), ha supuesto un efecto positivo en la salud de los ejemplares que quedaron aumentó. Fuente: Guirado et al. (2019).



## 5.2. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático también es otra amenaza importante para el azufaifar. La subida de las temperaturas durante el verano provoca un aumento de las necesidades hídricas de *Ziziphus lotus*, que ve incrementadas sus tasas de transpiración para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera (Torres-García et al., 2021a, Figura 11). Por otro lado, la torrencialidad de las lluvias supone una disminución de la recarga de los acuíferos sobre los que se asientan los restos del ecosistema que aún quedan en el sureste ibérico. Ello no sólo tiene consecuencias sobre la disminución de la disponibilidad de agua para estos arbustos, sino también sobre la captación de nutrientes de las capas superiores del suelo por sus raíces. En la medida en que se deseca el suelo, los azufaifos se ven obligados a movilizar más agua de las capas profundas de la zona vadosa o incluso del acuífero, lo que implica una menor disponibilidad de nutrientes (Querejeta et al., 2021). Además, en condiciones de sequedad la microbiota del suelo pierde capacidad para el ciclado de nutrientes. Ambos procesos afectan a la capacidad de los parches de azufaifar de actuar como islas de fertilidad en el paisaje árido.

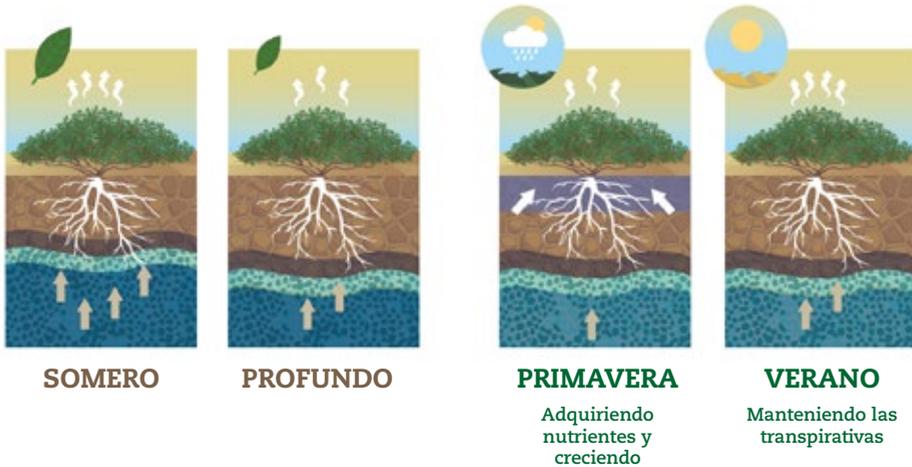


Figura 11. Respuesta fisiológica de *Ziziphus lotus* ante diferentes escenarios. Izquierda, cuando el nivel freático está más alto la planta obtiene más agua subterránea, incrementando su productividad y transpiración. Derecha: cuando hay humedad en el suelo (primavera) la planta obtiene más nutrientes que cuando se ve obligada a captar sólo agua del acuífero (verano). Fuente: Torres-García et al. (2022).

### 5.3. ESPECIES INVASORAS

La presencia de especies invasoras puede llegar a ser un impacto relevante en algunas localizaciones del ecosistema. Este es el caso de las zonas arenosas de la llanura litoral de Torregarcía-Amoladeras o en el entorno de las playas de Mónsul y Genoveses, donde los cultivares de agave para la producción de fibra como *A. sisalana* (el sisal) y *Agave fourcroydes* (el henequén), procedentes de cultivos abandonados a mitad del siglo pasado, tienen un comportamiento invasor (Foto 22). Estas especies compiten por el espacio con las especies del matorral debido a su gran eficacia biológica por contar con metabolismo crasuláceo (CAM), y su gran capacidad de proliferación en las arenas mediante rizomas y estolones (Salinas-Bonillo et al., 2022). El resultado es que a lo largo de décadas se han densificado extraordinariamente en los arenales, provocando una profunda modificación de la estructura del ecosistema, y la desecación de las capas más superficiales del suelo. Ambos factores afectan directamente a la diversidad y abundancia de la fauna estepárica y las especies de matorral de raíces poco profundas. La amenaza por especies invasoras puede tener un carácter más amplio y afectar a otras regiones del área de distribución de *Z. lotus*, ya que se ha descrito la presencia de otras especies invasoras como *Pennisetum setaceum* y *Lantana camara*, en los azufaifares de Sicilia y Chipre.



Foto 22. Matorral invadido por henequén (*Agave fourcroydes*) y sisal (*A. sisalana*) en la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras (Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar). Foto: ENGLOBALA.

## 5.4. ESPECIES DEFOLIADORAS

En las últimas décadas se ha registrado un aumento de las afecciones a *Ziziphus lotus* por parte de especies defoliadoras, entre las que destacan *Bucculatrix zizyphella* y *Tarucus theophrastus* (Foto 23), dos especies de lepidópteros que son exclusivas de este tipo de vegetación, ya que sus orugas se alimentan únicamente de las hojas del azufaifo (Romo et al., 2014; Tinaut et al., 2009). Junto a ellas hemos identificado una especie de curculiónido (*Sphincticraerus lethierryi*) que se alimenta de las yemas florales. La afección por estas especies puede llegar a ser bastante intensa, provocando la pérdida de todas las hojas en plena estación de crecimiento. Hasta la fecha no se han descubierto las causas de esta afección, pero podría deberse a la ausencia de parasitoides que controlan las poblaciones de defoliadores y minadores. La presión de los defoliadores suele comenzar a finales de julio y es mayor en las zonas próximas a la costa, lo que sugiere que los azufaifos que viven en áreas donde el volumen del suelo y subsuelo de la zona no saturada y saturada es menor, y por tanto, con menos disponibilidad de agua subterránea, se debilitan más fácilmente por el aumento de la temperatura atmosférica.



Foto 23. Izquierda, *Tarucus teophrastus*, mariposa asociada a *Z. lotus* y *Crematogaster scutellaris* (derecha) custodiando larvas de dicha mariposa. En la imagen se aprecian los daños producidos por la larva del lepidóptero en las hojas de azufaifo. Fotos: Javier Cabello y Emilio González-Miras.

## 5.5. FALTA DE RECLUTAMIENTO

Las poblaciones de *Z. lotus* del sureste ibérico muestran un escaso reclutamiento (reducido número de plántulas y juveniles), situación mucho más acusada en las zonas con el hábitat más degradado (Rey et al., 2018). Los individuos adultos producen semillas viables, pero desconocemos aún si el bajo reclutamiento es consecuencia de una limitación en la dispersión o en la germinación, o se debe a una alta herbivoría de frutos y plántulas. Como una de las causas principales de este hecho se baraja el consumo de la pulpa del fruto por los conejos, que consumen del 38-95% de los frutos caídos al suelo y, aunque aparentemente no producen daño en la semilla, pueden reducir su dispersión por el zorro o el jabalí (Cancio et al., 2016; Rey et al., 2018). A estos procesos de frugivoría hay que añadir la dificultad de acceso al agua subterránea que tienen los plantones de *Z. lotus* cuando aún atraviesan por un periodo de pre-freatófitos.



Foto 24. Plantón de *Z. lotus*. Foto: Javier Cabello.



06

MEDIDAS  
DE CONSERVACIÓN

La Directiva Hábitat (92/43/CEE) en su Anexo I clasifica a los matorrales de *Z. lotus* como un hábitat prioritario para la conservación (5220\*). Esta condición de prioridad se debe a que su estado de conservación ha sido calificado en todas las evaluaciones de desfavorable-inadecuado o desfavorable-malo para el periodo 2013-2018 (EEA, 2020). A pesar de la importancia reconocida de este hábitat, solo el 49% de los azufaifares del sureste ibérico están protegidos en la Red Natura 2000 (Márquez-Barraso et al., 2015), y como hemos visto esta medida no parece suficiente para su protección efectiva. Su conservación ha sido motivo de diferentes esfuerzos de gestión y restauración como los desarrollados en los proyectos LIFE CONHABIT ANDALUCÍA “Conservación y mejora en hábitats prioritarios en el litoral andaluz” (LIFE+13 NAT/ES/000586) y la que hemos desarrollado en el proyecto LIFE ADAPTAMED (LIFE 14 CCA/ES/000612). A partir del conocimiento generado en estos proyectos, y las investigaciones que se están llevado a cabo, sabemos que hay dos aspectos clave para mejorar el estado de conservación del hábitat. El primero de ellos es mejorar la conectividad de los parches remanentes a través de acciones de restauración ecológica. Además, habría que desarrollar medidas de conservación en el marco de la Directiva Marco de Aguas (Directiva 2000/60/CE) (Guirado et al., 2018, López-Rodríguez et al., 2020), que conduzcan a la identificación de masas de agua subterránea de cuya influencia depende el ecosistema.



Foto 25. Rama floral de *Z. lotus* con hormigas del género *Crematogaster*. Foto: Javier Cabello.



Foto 26. Siembra de *Z. lotus*. Foto: ENGLIBA.

Además de los impactos que sufre directamente el ecosistema, el hecho de que albergue especies amenazadas y en régimen de protección legal debería contribuir de forma indirecta a su conservación. Entre estas especies se encuentran *Androcymbium gramineum* y *Salsola papillosa* incluidas en el Listado Andaluz de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Decreto 23/2012, BOJA nº 60), y *Cynomorium coccineum* y *Maytenus senegalensis* en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas (categoría Vulnerable). Además de para estas plantas, el azufaijar o la matriz de matorral circundante, también constituyen el hábitat de animales foco de conservación. Tal es el caso de la ganga ortega (*Pterocles orientalis*) incluida en el catálogo de especies amenazadas como Vulnerable y, de otras 30 especies del listado Andaluz de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial que usan frecuentemente el azufaijar. Entre estas últimas destaca el alcaudón meridional (*Lanius meridionalis*), que en la llanura de Torregarcía-Amoladeras alcanza una de las mayores densidades dentro de su rango de distribución. Pertenece también al Listado la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*) que es especialmente abundante en esta llanura y es una de las especies que más ve reducidas sus poblaciones por la expansión de sisales y henequenes. Es objeto también de medidas especiales de conservación la tortuga mora (*Testudo graeca*), catalogada como en peligro de extinción, y que tiene como uno de sus hábitats preferentes los azufaijares del levante almeriense.



07

ACCIONES DE GESTIÓN  
EN EL MARCO DEL PROYECTO  
LIFE ADAPTAMED

Teniendo en cuenta la importancia del hábitat y su estado actual, el proyecto LIFE ADAPTAMED ha pretendido cubrir las necesidades de gestión del azufai-far mediante el estudio de su funcionamiento y vulnerabilidad, e implementar una serie de acciones con el fin de garantizar la conservación de sus servicios ecosistémicos. Los objetivos de dichas acciones fueron: 1) Realizar ensayos de restauración para la densificación de las poblaciones de azufai-far; 2) Retirar si-sales y henequenes (*Agave spp.*) y depurar técnicas de eliminación de especies invasoras extrapolables a hábitats con características similares; y 3) Establecer una red de sondeos para el monitoreo del nivel y la calidad del agua freática en la llanura litoral de Torregarcía, como base para el seguimiento de la zona crítica del azufai-far. A continuación, se describen las actuaciones realizadas y los indicadores de seguimiento utilizados para valorar sus efectos. Todas las acciones se realizaron en la Finca Pública Las Amoladeras (zona litoral occidental del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, paraje de Torregarcía-Amoladeras). Además, para el objetivo 3 se trabajó en la zona de servidumbre del camino de la Ermita de Torregarcía.

### 7.1. ENSAYOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA LA DENSIFICACIÓN Poblaciones de *ZIZIPHUS LOTUS*

Esta acción se llevó a cabo en enero de 2017 en el entorno de la rambla de Amoladeras. Esta zona reunía una serie de requisitos que se consideraron adecuados para llevar a cabo la acción:

- Finca pública de fácil acceso para personal, transporte y maquinaria, lo que evitaría un daño adicional al ecosistema.
- Tratar-se de una zona heterogénea con cultivos de *A. sisalana* y *A. fourcroydes*, tanto en sustrato duro (costra calcárea) como en arenas, siendo la costra el más idóneo para el establecimiento de juveniles de *Z. lotus*, según nuestros registros poblacionales.
- Estar incluida en parte del área donde se llevó a cabo la eliminación de las agaves.
- Presentar zonas de ecotono con espartales y matorrales bajos, hábitats de especial interés por su riqueza en avifauna esteparia.
- Contar con la presencia de individuos juveniles de *Z. lotus* en buen estado de salud. En general, la presencia de juveniles es escasa en toda la llanura de Torregarcía, por lo que la presencia de este tipo de individuos se interpretó como un indicador de idoneidad para el establecimiento con éxito de los nuevos individuos que se plantarían.

- Existir una frecuencia adecuada de especies vegetales zoócoras (*Asparagus* spp., *Lycium intricatum*, *Macrochloa tenacissima*, *Retama sphaerocarpa*, *Salsola oppositifolia* o *Withania frutescens*) que pudieran fomentar la visita de dispersores, y una vez instaladas actuar como individuos nodriza para los plantones de *Z. lotus*.

Se diseñó una plantación a partir del conocimiento existente para la restauración de los ecosistemas áridos, la minimización de costes y las limitaciones administrativas inherentes a cualquier acción de gestión. Además de *Z. lotus*, se plantaron también individuos de *Capparis spinosa* y *Retama sphaerocarpa*. Estas dos últimas se eligieron como especies productoras de frutos atractivos a dispersores, lo que enriquecería a la comunidad en animales que favorecería la dispersión de frutos del azufaifo a largo plazo. Dadas las limitaciones temporales del proyecto, se prepararon en vivero plantones de dos savias. Para el diseño de la plantación se consideraron parcelas de actuación en las previamente se habían eliminado sisales y henequenes (objetivo 2), y otras que contaban con la presencia de agaves dispersos. A su vez, dentro de cada parcela, se realizaron dos tipos de plantaciones, así en unos casos se instalaron los plantones junto a individuos adultos de otras especies que actuarían como plantas nodriza, mientras que en otros se instalaron en claros del matorral. Como especies nodrizas se usaron *Lycium intricatum* y *Salsola oppositifolia* en las parcelas con retirada de agaves, y *A. sisalana* y *A. fourcroydes* en aquellas parcelas en las que no se eliminaron los invasores. Los plantones se ubicaron a menos de 20 cm de la nodriza, al norte de esta y a sotavento de los vientos dominantes (oeste). La plantación fue manual, realizando una pequeña poza de al menos 10 cm de profundidad alrededor del plantón y con un protector de plástico para evitar la herbivoría. Se proporcionó un riego durante el primer verano. Las 6 parcelas seleccionadas fueron de 90 x 90 m, coincidiendo espacialmente con píxeles de las imágenes del satélite Landsat, para el posterior seguimiento mediante teledetección de toda el área.



Foto 27. Plantones de *Ziziphus lotus* usados en la plantación. Izquierda, con el protector contra la herbivoría utilizado. Fotos: Emilio González-Miras.

Las tasas de supervivencia de los plantones un año y medio después de la plantación (junio de 2018) fueron muy bajas, tanto para *C. spinosa* (0,3%) como para *Z. lotus* (5,6%) y aceptables para *R. sphaerocarpa* (60,1%). Los resultados fueron algo mejores en las parcelas donde no se retiraron los agaves, aunque el número de casos no fue lo suficientemente grande como para apoyar estadísticamente esta observación. El posible efecto positivo de las nodrizas tampoco se evidenció, aunque de nuevo el bajo número de réplicas impidió un tratamiento estadístico riguroso. A pesar de que cerca de la mitad de los plantones de *Z. lotus* sobrevivieron al primer verano, a inicios del verano de la segunda estación de crecimiento la mortalidad fue muy alta. Las razones de este escaso éxito de la plantación probablemente radican en se usaron plantones demasiado jóvenes (dos savias) con un sistema radicular no suficientemente desarrollado, y el momento de plantación que por razones administrativas fue en primavera tardía. En el apartado 8 se proponen alternativas a la metodología utilizada a partir de las lecciones aprendidas.

### 7.2. RETIRADA DE SISALES Y HENEQUENES

Los estudios realizados evidencian que la elevada densidad de agaves (*A. sisalana* y *A. forucroydes*) frena la dinámica poblacional de las especies vegetales autóctonas, particularmente cuando se trata de un sustrato arenoso (Badano y Pugnaire, 2004; Salinas-Bonillo et al., 2022). Liberar espacio en la comunidad para la expansión de tales especies, muchas de naturaleza zoócora, puede favorecer el aumento de la diversidad y densidad poblacional de diversos grupos animales del azufaifar al aumentar la disponibilidad de recursos, y restaurar la estructura del hábitat nativo. Esto impulsará una mayor dispersión de diásporas, lo que a su vez dará robustez a las interacciones tróficas alteradas o rotas en las comunidades dominadas por sisal y henequén. Simultáneamente estas plantas pueden actuar como nodrizas, lo que facilitará el establecimiento de plántulas de *Ziziphus lotus* a largo plazo. Todo ello generará un refortalecimiento de las redes tróficas y de los procesos ecológicos del ecosistema original, lo que, en definitiva, redundará en un aumento de su resiliencia frente a las perturbaciones.

Esta actuación se llevó a cabo entre octubre y diciembre de 2016 en una superficie de 10 ha de la zona norte de la finca pública (Foto 28). Con objeto de minimizar el impacto, y dado que parte de la zona de actuación coincidió con la de plantación (objetivo 1), la saca se llevó a cabo con retroexcavadora utilizando siempre las

áreas con menor densidad de vegetación para la entrada de la maquinaria. El uso de maquinaria pesada que inicialmente consideramos que podría ser una técnica muy agresiva, ha sido también muy efectiva en experiencias similares realizadas en la zona (García-de-Lomas et al., 2014, 2018), recuperándose el matorral dañado a los 2-3 meses. Asimismo, a través de la colaboración de otros grupos de interés (grupos ecologistas, acciones de voluntariado) se llevaron a cabo campañas para la retirada de los restos de materia orgánica seca de las agaves muertas (rosetas y escapos). Estas actividades tuvieron lugar con posterioridad a la eliminación de las agaves vivas, dado el peligro que supone transitar entre estas.



Foto 28. *Agave fourcroydes* (henequén) y *Agave sisalana* (sisal), procedentes de antiguos cultivos, se han convertido en especies invasoras en el SE Ibérico, lo que supone una grave amenaza para la biodiversidad nativa, particularmente para la fauna esteparia. Estas especies alcanzan altas densidades mediante la producción de clones. Una estrategia efectiva para la mejora del hábitat y el control de estas invasoras es la eliminación de adultos, brotes procedentes de rizomas y bulbillos (Salinas-Bonillo et al., 2022). Fotos de Emilio González-Miras: retirada de henequén y sisal con maquinaria (izquierda), y posterior eliminación manual de clones (derecha).

Para el seguimiento de la recuperación de las funciones ecosistémicas del hábitat después de la eliminación de las agaves, se realizaron muestreos de artrópodos del suelo y aves. El seguimiento de artrópodos se inició en mayo de 2016 (Aranguren-López, 2016) y se repitió en marzo, abril y mayo de 2017 a 2021 (Pérez Pardo, 2021). Para ello se diferenciaron dos zonas, invadidas por agaves y no invadidas, y dos sustratos, arena y material duro (costra calcárea). Se utilizaron trampas de caída (*pitfall*) consistentes en recipientes de plástico (110 mm de diámetro y 150 mm de alto) con agua con sal y unas gotas de jabón neutro para eliminar la tensión superficial del líquido y permitir una mayor conservación y almacenaje de las muestras. En cada zona se pusieron tres filas (réplicas) de cinco trampas cada una (Foto 29) que se retiraron a la semana. En todos los muestreos las trampas se colocaron en el mismo lugar.



Foto 29. Diseño experimental de la posición de las trampas (Pérez Pardo, 2021). Fotos: Emilio González-Miras.

A pesar del escaso tiempo transcurrido desde que tuvo lugar la retirada de agaves en la zona de costra cuaternaria, se pueden observar incrementos en la abundancia de dos órdenes muy representativos del ecosistema, coleópteros e himenópteros. Haciendo una comparativa con el año 2016, antes de la retirada de sisales y henequenes, hubo un notable incremento en la abundancia de coleópteros casi inmediatamente después, particularmente en el género *Erodius* y *Pimelia*. Posteriormente estos valores de abundancia se han mantenido en el tiempo. En el caso de los himenópteros los resultado son aún más palpables, ya

que las poblaciones aumentaron su tamaño progresivamente y 4 años después de la retirada se han registrado más del triple de individuos (Figura 12), además, aparecieron 3 nuevas especies respecto a las halladas en 2016: *Camponotus amaurus*, *Camponotus haroi* y *Tetramorium semilaeve*. Para otros grupos taxonómicos, tras la retirada de agaves se han observado incrementos en el aumento de las poblaciones de lagartija colijorra (*Psammodromus algirus*) y cogujada montesina (*Galerida theklae*).

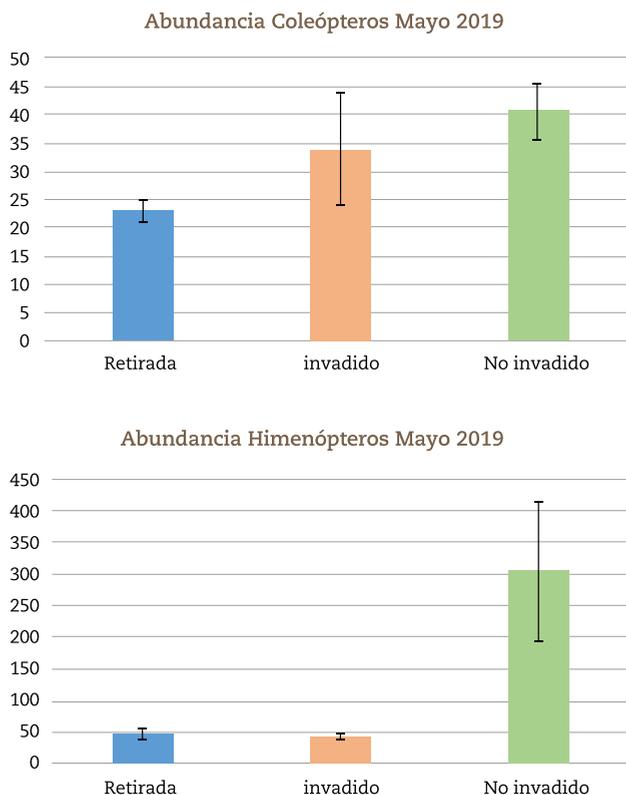


Figura 12. Abundancia media de coleópteros e himenópteros de suelo durante mayo de 2019 en los tres ambientes evaluados: Retirada, zona donde se eliminaron las agaves; Invadido, zona con agaves; No invadido, zona sin agaves.

## 7.3. RED DE SONDEOS PIEZOMÉTRICOS

El objetivo de esta acción fue disponer de una infraestructura de información para el diseño de un sistema de seguimiento de los cambios del acuífero, el análisis de cómo estos cambios afectan al ecosistema, así como profundizar en el conocimiento de las interacciones entre los componentes de la atmósfera, la litosfera, la hidrosfera y la biosfera que tienen lugar en la zona crítica, sobre todo en la zona saturada (Foto 30).



Foto 30. Sondeos realizados en llanura de Torregarcía-Amoladeras en el marco del proyecto Life ADAPTAMED. Estos sondeos son una infraestructura básica para el seguimiento de la zona crítica. Fotos: ENGLOBALA.

La red de seguimiento instalada consta de 8 pozos (Figura 13) dotados con sensores para la medición de la conductividad eléctrica (CE), la temperatura y el nivel piezométrico, ubicados a lo largo de la llanura de Torregarcía para cubrir el gradiente de profundidad del nivel freático existente en la zona, y de la influencia del agua marina, tanto en zonas no invadidas de agave (W de la rambla Amoladeras), como en la zona invadida (E de dicha rambla). Los datos se registran cada 30 minutos desde el 22/05/19, y periódicamente se llevan a cabo medidas directas en el agua que incluyen: oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, potencial redox y concentración de bicarbonatos.

Las variaciones estacionales registradas parecen estar regidas por la temperatura, dado que al subir esta desciende el nivel piezométrico (Figura 14). Las variaciones anuales de nivel están sobre 0,4-0,5 m, valores razonables para este

tipo de acuíferos relativamente marginales y poco explotados, estando los niveles más altos desde noviembre a marzo, coincidiendo con cierto desfase con las precipitaciones principales, y más bajos durante el verano, comenzando a recuperarse en otoño con las primeras lluvias. Las variaciones son algo mayores

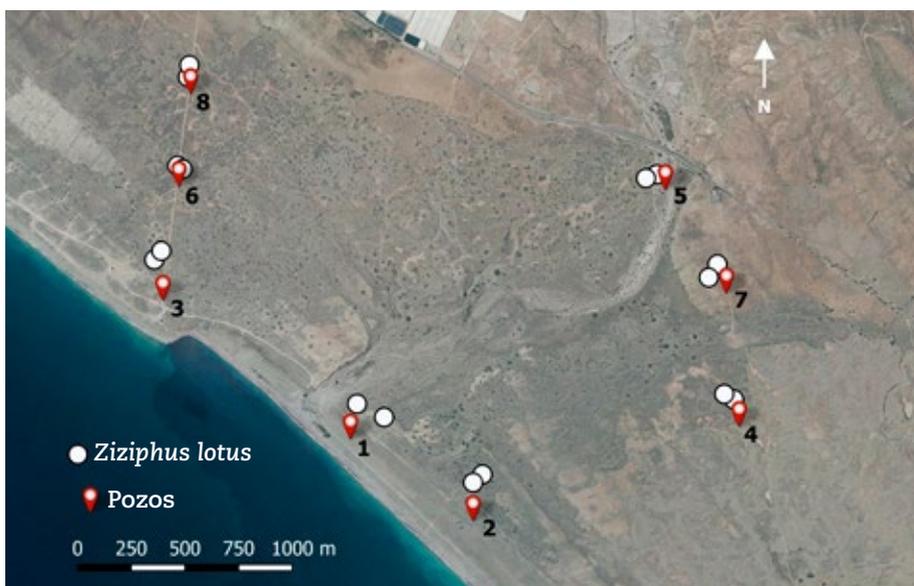


Figura 13. Distribución espacial de la red de pozos LIFE ADAPTAMED para el seguimiento del agua subterránea y de individuos de *Ziziphus lotus* monitorizados en la llanura litoral de Torregarcía-Amoladeras. Fuente: ENGLIBA.

hacia el norte y noroeste, pudiendo tratarse de zonas de recarga oculta desde otros acuíferos e incluso por un posible retorno de regadío. La influencia potencial del poder evapotranspirador de *Z. lotus* es difícil de apreciar, pero podría unirse a los descensos de nivel en verano coincidiendo con su mayor actividad.

En lo que respecta a la CE como indicador de salinidad del agua, hallamos importantes diferencias entre sondeos, con valores globales que han oscilado entre 3,5 y 13,6 mS/cm. Los más cercanos a la costa y más someros, registran variaciones acusadas debido a su cercanía a la interfase agua dulce-agua salada, que se modifica con los cambios de mareas. En algunos de los pozos alejados de la costa existe una ligera bajada de CE en los momentos de recarga, pero desfasada con los niveles del agua. El resto de los sondeos no tiene una variación

apreciable de CE. Cabe destacar que los pozos 6, 9 y 3 presentan valores de CE elevados a pesar de estar alejados de la costa. Esto puede deberse a la presencia de una mayor cuña de agua de mar que penetra con facilidad a causa de materiales permeables, a fallas en la zona, al lavado de materiales salinos o a la presencia de aguas salinas fósiles (Navarro Herrera, 2022).

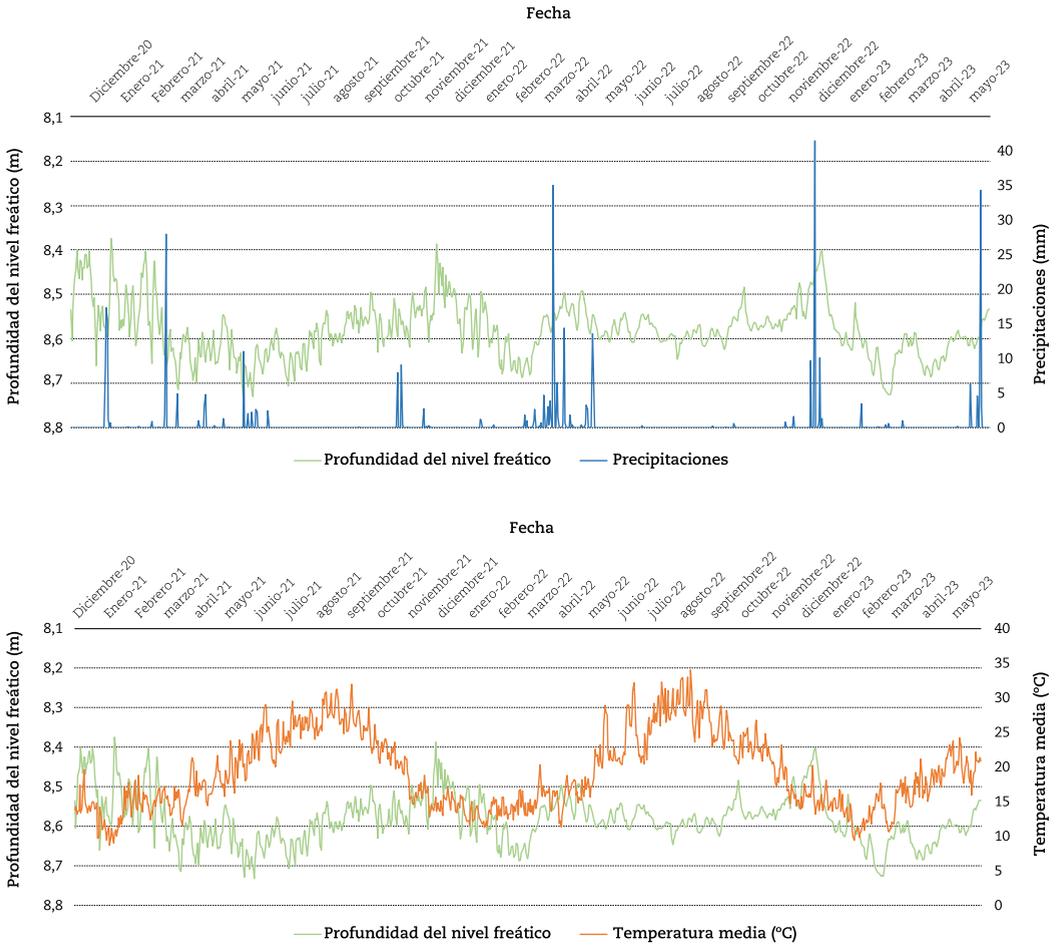


Figura 14. Variaciones de la profundidad del agua subterránea en relación con las precipitaciones mensuales (arriba) y las temperaturas medias mensuales (abajo) de uno de los pozos instalados (pozo 3) desde diciembre de 2020 a mayo de 2023. Fuente: ENGLIBA.





ÁREA DE RESERVA DE LAS MARINAS ~ MOLINERAS



08

**BUENAS PRÁCTICAS PARA,  
LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN  
DEL AZUFAIFAR**

Con el objetivo de avanzar en la protección y mejora de la resiliencia del azufaifar y los servicios ecosistémicos que provee, proponemos acciones de gestión que integran los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto y los resultados de investigaciones paralelas.

### 8.1. MANTENIMIENTO Y CREACIÓN DE ISLAS DE BIODIVERSIDAD PARA APOYAR LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE

A lo largo del proyecto hemos podido constatar que los matorrales de *Ziziphus lotus* albergan una destacada diversidad de entomofauna útil para la agricultura. De acuerdo con ello, puede ser particularmente útil revelar ante la sociedad local este importante servicio ecosistémico con el objetivo de crear y mantener parches de hábitat en un área en la que la expansión agrícola representa una amenaza persistente. En efecto, en el dosel de las formaciones arbustivas hemos encontrado una alta abundancia de especies auxiliares para combatir las plagas agrícolas más comunes, como el trips de las flores (*Frankliniella occidentalis*) y la mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Esto supone que el mantenimiento de islas de vegetación natural con *Z. lotus* entre el paisaje agrícola, constituye una potente herramienta ecológica que mejora, a largo plazo, el control biológico natural, y en última instancia, reduce la entrada de plagas al interior de los invernaderos.

### 8.2. RESTAURACIÓN Y DENSIFICACIÓN DE POBLACIONES

La tasa general de supervivencia de los plantones instalados durante el proyecto ha sido bastante baja, lo que está directamente relacionado con las condiciones de aridez y la dificultad de dichos plantones para acceder al agua subterránea, sobre todo durante el verano. Los moderados índices de supervivencia obtenidos durante el primer año indican que el riego que se les proporcionó el primer verano fue positivo para la supervivencia de muchos de estos, pero no lo suficiente como para que adquirieran la necesaria biomasa de raíces para alcanzar capas de suelo más profundas y húmedas. Proponemos que en futuras plantaciones de *Ziziphus lotus* se seleccionen plantones de al menos 3

savias, con raíces bien desarrolladas. Además, deberían ser plantados a una profundidad de al menos 15 cm, para minimizar los efectos de la desecación de las primeras capas del suelo y facilitar que alcancen capas húmedas, así como eliminar periódicamente las plántulas que surjan en su cercanía para evitar competencia. Este procedimiento requerirá destinar una importante cantidad de recursos en realizar una plantación con estas características y un mantenimiento posterior (eliminación de plántulas competidoras y riegos estivales) más controlado.

### 8.3. VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO PERIÓDICO DE ESPECIES INVASORAS

Los métodos de extracción mecánica empleados para la eliminación de los agaves han sido muy efectivos, por su reducido coste y la rápida recuperación de los matorrales y pastizales tras la intervención con maquinaria pesada. Sin embargo, una vez realizada esta acción, conviene poner el foco en el control a medio y largo plazo de los rebotes de las especies invasoras. Las acciones de seguimiento realizadas indican que el mecanismo de propagación más efectivo para la invasión de *A. fourcroydes* y *A. sisalana* es la producción de brotes a partir de rizomas, que vuelven a colonizar el hueco dejado por los adultos sólo un año después de su eliminación. De acuerdo con ello, los esfuerzos deberían centrarse en eliminar dichos brotes, más que en la eliminación de grandes individuos reproductores (dado que morirán tras florecer) o en la recolección de bulbillos (con muy baja probabilidad de enraizar y sobrevivir en condiciones tan áridas). La recuperación de la fauna (aves e insectos del suelo) casi inmediatamente tras la retirada de los agaves, justifica que el control de estas especies invasoras sea una técnica de gestión adecuada para el conjunto del ecosistema.

### 8.4. NARRATIVAS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA LA VALORIZACIÓN DEL AZUFAIFAR ANTE LA SOCIEDAD

Aun sabiendo del importante papel que *Ziziphus lotus* desempeña en el funcionamiento del hábitat, en numerosas ocasiones la sociedad lo desconoce o minusvalora. Esto contrasta con el hecho de que la comunidad científica lleva décadas generando conocimiento sobre esta especie y su hábitat, esencial para



su puesta en valor, gestión y conservación. A pesar de los esfuerzos de los investigadores, este conocimiento difícilmente permea a los ámbitos de la gestión y la sociedad, lo que está limitando su uso para la elaboración de políticas y estrategias para garantizar su conservación.

Con objeto de avanzar en la protección y mejora de la resiliencia del azufaifar proponemos acciones de gestión que integren los conocimientos adquiridos tras las experiencias realizadas durante estos últimos años, teniendo en cuenta que una de las dimensiones que es imprescindible potenciar de forma continuada es la de concienciar a la sociedad sobre los valores de este hábitat.

La experiencia adquirida en la identificación y divulgación de los servicios ecosistémicos a partir del estudio de las características funcionales de *Z. lotus*, nos lleva a proponer el fomento de narrativas sobre el ecosistema basadas en la investigación y la transferencia del conocimiento científico, como una importante medida para la conservación del ecosistema en un paisaje muy antropizado. Las acciones de divulgación pueden ayudar a comprender la importancia de la conservación de los azufaifares y del cambio climático sobre los ecosistemas

áridos. Un ejemplo de ello es la “ruta de cambio climático”, un sendero dotado de información sobre las funciones y servicios de los azufaihares que discurre por la llanura litoral del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Dicha ruta ha sido diseñada para mostrar a la sociedad el valor de *Z. lotus* como indicador del impacto del cambio climático sobre los acuíferos, y ha sido bien recibida por las empresas ecoturísticas locales, que ya la tienen bajo explotación.

## 8.5. ACCIONES DE CONSERVACIÓN EN EL MARCO DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

La identificación de vegetación dependiente de aguas subterráneas cuando no existe presencia de agua en superficie es particularmente difícil. Esta dificultad contrasta con la urgente necesidad de identificar e inventariar los ecosistemas superficiales asociados a las masas de agua subterránea para tomar medidas de conservación. La confirmación de que *Ziziphus lotus* es un freatófito facultativo que da lugar a un ecosistema dependiente de aguas subterráneas, debería conducir a la creación de planes de conservación y gestión también en el marco de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, además de en la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Dado que la conservación de este hábitat prioritario depende de la integridad de las aguas subterráneas, los descensos locales del nivel freático debidos a la creciente actividad agrícola, o la consiguiente intrusión de agua de mar, un proceso irreversible a corto plazo podría llevar a este ecosistema a un colapso local. Estos planes deberían extenderse más allá de los límites del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, para garantizar la integridad de las aguas subterráneas donde se encuentran las principales poblaciones de *Z. lotus*. Resulta urgente caracterizar el grado de dependencia de los acuíferos de los parches de azufaihar que aún persisten en el sureste ibérico, para establecer medidas adecuadas de gestión de los acuíferos en un área caracterizada por la sobreexplotación de las masas de agua subterránea.



# 9

## REFERENCIAS

- Abdoul-Azize, S. 2016. Potential benefits of jujube (*Zizyphus lotus* L.) bioactive compounds for nutrition and health. *Journal of Nutrition and Metabolism* 2016, 2867470.
- Aguiar, M.R., Sala, O.E. 1999. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 14, 273-277.
- Aguiar, M.R., Paruelo, J.M., Sala, O.E., Lauenroth, W.K. 1996. Ecosystem responses to changes in plant functional type composition: an example from the Patagonian steppe. *Journal of Vegetation Science* 7, 381-390.
- Akob, D.M., Küsel, K. 2011. Where microorganisms meet rocks in the Earth's Critical Zone. *Biogeosciences* 8, 3531-3543.
- Aranguren-López, G.J. 2017. Impacto de la invasión de agaves sobre la comunidad de artrópodos terrestres del azufafar. Trabajo Fin de Grado inédito. Universidad de Almería, Almería.
- Badano, E.I., Pugnaire, F.I. 2004. Invasion of Agave species (Agavaceae) in south-east Spain: invader demographic parameters and impacts on native species. *Diversity and Distributions* 10, 493-500.
- Banwart, S., Chorover, J., Gaillardet, J., Sparks, D., White, T., Anderson, S., Aufdenkampe, A., Bernasconi, S., Brantley, S.L., Chadwick, O., Dietrich, W.E., Duffy, C., Goldhaber, M., Lehnert, K., Nikolaidis, N.P., Ragnarsdottir, K.V. 2013. Sustaining Earth's critical zone. Basic science and interdisciplinary solutions for global challenges. University of Sheffield, Sheffield.
- Bekkar, N.E.H., Meddah, B., Keskin, B., Sonnet, P. 2021. Oral acute toxicity, influence on the gastrointestinal microbiota and in vivo anti-salmonellosis effect of *Zizyphus lotus* (L.) and *Ruta chalepensis* (L.) essential oils. *Journal of Applied Biotechnology Reports* 8(1), 13-26.
- Belmaghraoui, W., El Madani, N., Manni, A., Harir, M., Filali-Maltouf, A., El Hajjaji, S., El Fatni, O. K. 2018. Total phenolic and flavonoid content, antioxidant and antibacterial activity of *Zizyphus lotus* from Morocco. *Pharmacology* 3, 176-183.
- Benammar, C., Hichami, A., Yessoufou, A., Simonin, A.M., Belarbi, M., Allali, H., Khan, N.A. 2010. *Zizyphus lotus* L. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 10, 54.
- Berrichi, M., Benammar, C., Murtaza, B., Hichami, A., Belarbi, M., Khan, N.A. 2021. *Zizyphus lotus* L. fruit attenuates obesity-associated alterations: in vivo mechanisms. *Archives of Physiology and Biochemistry* 127(2), 119-126.
- Blanca, G. 1993. El origen de la flora andaluza. En: Junta de Andalucía (Ed.), *Introducción a la flora andaluza*. Agencia de Medio Ambiente, Sevilla. pp. 19-35.
- Boulton, A.J. 2005. Chances and challenges in the conservation of groundwaters and their dependent ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15, 319-323.
- Braga, J.C., Baena, J., Calaforra, J.M., Coves, J.V., Dabrio, C., Feixas, C., Fernández, J.M., Gómez, J.A., Goy, J.L., Harvey, A.M., Martín, J.M., Martín, A., Mather, A.E., Stokes, M., Villalobos, M., Zazo, C. 2003. *Geología del entorno árido almeriense: Guía didáctica de campo*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Bucher, S.F., Auerswald, K., Tautenhahn, S., Geiger, A., Otto, J., Müller, A., Römermann, C. 2016. Inter- and intraspecific variation in stomatal pore area index along elevational gradients and its relation to leaf functional traits. *Plant Ecology* 217, 229-240.
- Cabello, J., Castro, A.J. 2012. Estado y tendencia de los servicios de los ecosistemas de Zonas Áridas de Andalucía. Junta de Andalucía.

- Cabello, J., Salinas, M.J., Torres, M.T., Castro, H. 2015, Eds. Manual para el seguimiento del Cambio Global. Una propuesta para ambientes áridos y semiáridos. Fundación Patrimonio Natural, Biodiversidad y Cambio Global, Almería.
- Cancio, I., González-Robles, A., Bastida, J.M., Isla, J., Manzaneda, A.J., Salido, T., Rey, P.J. 2017. Landscape degradation affects red fox (*Vulpes vulpes*) diet and its ecosystem services in the threatened *Ziziphus lotus* scrubland habitats of semiarid Spain. *Journal of Arid Environments* 145, 24-34.
- Cancio, I., González-Robles, A., Bastida, J.M., Manzaneda, A.J., Salido, T., Rey, P.J. 2016. Habitat loss exacerbates regional extinction risk of the keystone semiarid shrub *Ziziphus lotus* through collapsing the seed dispersal service by foxes (*Vulpes vulpes*). *Biodiversity and Conservation* 25, 693-709.
- Carretero, M.A., Salvador, A. 2017. Lagarto bético - *Timon nevadensis*. En: Salvador, A., Marco, A. (Eds.), Enciclopedia virtual de los vertebrados españoles. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. pp. 1-10.
- Chaachouay, N., Douira, A., Zidane, L. 2021. COVID-19, prevention and treatment with herbal medicine in the herbal markets of Salé Prefecture, North-Western Morocco. *European Journal of Integrative Medicine*, 42, 101285.
- Chamizo, S., Rodríguez-Caballero, E., Cantón, Y., Asensio, C., Domingo, F. 2015. Penetration resistance of biological soil crusts and its dynamics after crust removal: Relationships with runoff and soil detachment. *Catena* 126, 164-172.
- Charco, J., Alcaraz, F., Carrillo, F., Rivera, D. 2015. Árboles y arbustos autóctonos de la Región de Murcia. CIA-MED, Ciudad Real.
- Charles-Dominique, T., Barczy, J.F., Le Roux, E., Chamaillé-Jammes, S. 2017. The architectural design of trees protects them against large herbivores. *Functional Ecology* 13, 1710-1717.
- Charles-Dominique, T., Davies, T.J., Hempson, G.P., Bezeng, B.S., Daru, B. H., Kabongo, R.M., Maurin, O., Muasya, A.M., Van der Bank, M., Bond, W.J. 2016. Spiny plants, mammal browsers, and the origin of African savannas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, E5572-E5579.
- Colvin, C., Le Maitre, D., Hughes, S. 2003. Assessing terrestrial groundwater dependent ecosystems in South Africa. Report No. 1090-2/2/03. Water Research Commission, Pretoria.
- Constantinou, E., Sarris, D., Vogiatzakis I.N. 2021. The possible role of *Ziziphus lotus* as an ecosystem engineer in semiarid landscapes. *Journal of Arid Environments* 195, 104614.
- Contreras Martínez, A. 2020. Microbiota aerobia cultivable asociada al complejo ecohidrológico del azufaifo: distribución en el perfil vertical. Trabajo Fin de Grado inédito. Universidad de Almería, Almería.
- Cotes, B., González, M., Benítez, E., De Mas, E., Clemente-Orta, G., Campos, M., Rodríguez, E. 2018. Spider communities and biological control in native habitats surrounding greenhouses. *Insects* 9, 33.
- Daniele, L., Sola, F., Vallejos Izquierdo, A., Pulido Bosch, A. 2010. Coastal aquifer and desalination plants: some interpretations to new situations. BALWOIS 2010 – Ohrid, Republic of Macedonia – 25, 29 May 2010.
- Deblauwe, V., Barbier, N., Couteron, P., Lejeune, O., Bogaert, J. 2008. The global biogeography of semi-arid periodic vegetation patterns. *Global Ecology and Biogeography* 17, 715-723.
- Dekker, F.J., Hughson, D.L. 2014. Reliability of ephemeral montane springs in Mojave National Preserve, California. *Journal of Arid Environments* 111, 61-67.
- Díaz, S. et al. 2015. The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14, 1-16.

- Domec, J.C., Warren, J.M., Meinzer, F.C. 2004. Native root xylem embolism and stomatal closure in stands of Douglas-fir and Ponderosa pine: mitigation by hydraulic redistribution. *Oecologia* 141, 7-16.
- Eamus, D., Froend, R., Loomes, R., Hose, G., Murray, B. 2006. A functional methodology for determining the groundwater regime needed to maintain the health of groundwater-dependent vegetation. *Australian Journal of Botany* 54, 97-114.
- Eamus, D., Fu, B., Springer, A.E., Stevens, L.E. 2016. Groundwater dependent ecosystems: Classification, identification techniques and threats. En: Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.D., Ross, A. (Eds.), *Integrated groundwater management*. Springer International Publishing, Switzerland. pp. 313-346.
- Eamus, D., Zolfaghar, S., Villalobos-Vega, R., Cleverly, J., Huete, A. 2015. Groundwater-dependent ecosystems: recent insights, new techniques and an ecosystem-scale threshold response. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 12, 4677-4754.
- EEA, 2020. Third assessment of conservation status and trends, birds included. Input to final assessment of EU Biodiversity Strategy to 2020.
- El Messaoudi, N., El Khomri, M., Chlif, N., Chegini, Z. G., Dbik, A., Bentahar, S., Lacherai, A. 2021a. Desorption of Congo red from dye-loaded *Phoenix dactylifera* date stones and *Ziziphus lotus* jujube shells. *Groundwater for Sustainable Development* 12, 100552.
- El Messaoudi, N., El Khomri, M., Goodarzvand Chegini, Z., Chlif, N., Dbik, A., Bentahar, S., Iqbal, M., Jada, A., Lacherai, A. 2021b. Desorption study and reusability of raw and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> modified jujube shells (*Zizyphus lotus*) for the methylene blue adsorption. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 103(16), 3762-3778.
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD, EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. FAO, Roma.
- Ferrer Gallego, P.P., Navarro-Cano, J.A., Ferrando-Pardo, I., Laguna, E. 2017. *Ziziphus Lotus* (L.) Lam. (Rhamnaceae) en la provincia de Valencia (España). *Flora Montiberica* 69, 54-57.
- García-de-Lomas, J., Dana, E.D., García-Ocaña, D.M., Gámez, V., Romero, A., García-Morilla, J., Gimeno, D., Caparros, J.L., Ceballos, G. 2014. Control de flora invasora en el litoral: evaluación de la eficacia mediante pruebas piloto. Junta de Andalucía, Sevilla.
- García-de-Lomas, J., Schwarzer, H., Sanz, Fernández-Carrillo, L. 2018. Native plant recovery after the mechanical removal of invasive *Agave* spp. in coastal habitat in Almería, southeast Spain. *Conservation Evidence* 15, 48-49.
- García García, J.P., Sánchez Caparós, A., Castillo, E., Marín, I., Padilla, A., Rosso, J.I. 2003. Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en la zona de Cabo de Gata. En: López-Geta, J.A., de la Orden, J.A., Gómez, J., Ramos, G., Mejías, M., Rodríguez, L. (Eds.), *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. pp. 413-422.
- González-Miras, E., Nevado, J. 2008. Atlas de distribución de los anfibios de la provincia de Almería (sudeste ibérico, España). *Boletín de la Asociación Herpetológica Española* 19, 85-90.
- Gorai, M., Maraghni, M., Neffati, M. 2010. Relationship between phenological traits and water potential patterns of the wild jujube *Ziziphus lotus* (L.) Lam. in southern Tunisia. *Plant Ecology and Diversity* 3, 273-280.
- Goy, J.L., Zazo, C. 1983. Los piedemontes cuaternarios de la región de Almería (España): análisis morfológico y relación con la neotectónica. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 5, 397-419.

- Goy, J.L., Zazo, C. 1986. Western Almería (Spain). Coastline changes since the Last Interglacial. *Journal of Coastal Research* 1, 89-93.
- Griebler, C., Malard, F., Lefébure, T. 2014. Current developments in groundwater ecology - from biodiversity to ecosystem function and services. *Current Opinion in Biotechnology* 27, 159-167.
- Gryta, A., Frac, M., Oszust, K. 2014. The application of the Biolog EcoPlate approach in ecotoxicological evaluation of dairy sewage sludge. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 174, 1434-1443.
- Guillén Sánchez, C. 2021. Diversidad funcional de la microbiota de la Zona Crítica en la llanura costera de Torregarcía-Amoladeras (Almería, España). Trabajo Fin de Máster inédito. Universidad de Almería, Almería.
- Guirado Hernández E. 2013. Factores que afectan a la distribución espacial de vegetación freatofita (*Ziziphus lotus*) en el acuífero costero de Torregarcía (sureste de España). Trabajo Fin de Máster inédito. Universidad de Almería, Almería.
- Guirado, E., Alcaraz-Segura, D., Rigol-Sánchez, J.P., Gisbert, J., Martínez Moreno, F.J., Galindo-Zaldívar, J., González-Castillo, L., Cabello, J. 2018. Remote-sensing-derived fractures and shrub patterns to identify groundwater dependence. *Ecohydrology* 11, e1933.
- Guirado, E., Blanco-Sacristán, J., Rigol-Sánchez, J.P., Alcaraz-Segura, D., Cabello, J. 2019. A multi-temporal object-based image analysis to detect long-lived shrub cover changes in drylands. *Remote Sensing* 11, 2649.
- Herrero, A. 2013. *Ziziphus* Mill. En: Castroviejo, S. et al. (Eds.) *Flora Iberica*, 9. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid. pp. 4-8.
- Hultine, K.R., Froend, R., Blasini, D., Bush, S.E., Karlinski, M., Koepke, D.F. 2020. Hydraulic traits that buffer deep-rooted plants from changes in hydrology and climate. *Hydrological Processes* 34, 209-222.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108, 389-411.
- Jin, L., Ravella, R., Ketchum, B., Bierman, P. R., Heaney, P., White, T., Brantley, S. L. 2010. Mineral weathering and elemental transport during hillslope evolution at the Susquehanna/Shale Hills Critical Zone Observatory. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 3669-3691.
- Jmiai, A., El Ibrahim, B., Tara, A., Chadili, M., El Issami, S., Jbara, O., Khallaayoun, A., Bazzi, L. 2018. Application of *Zizyphus Lotus* - pulp of Jujube extract as green and promising corrosion inhibitor for copper in acidic medium. *Journal of Molecular Liquids* 268, 102-113.
- Kéfi, S., Rietkerk, M., Alados, C.L., Pueyo, Y., Papanastasis, V.P., ElAich A., de Ruiter P.C. 2007. Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems. *Nature* 449, 213-217.
- Kløve, B., Allan, A., Bertrand, G., Druzynska, E., Ertürk, A., Goldscheider, N., Schipper, P. 2011. Groundwater dependent ecosystems. Part II. Ecosystem services and management in Europe under risk of climate change and land use intensification. *Environmental Science and Policy* 14, 782-793.
- Kurz-Besson, C., Otieno, D., Lobo do Vale, R., Siegwolf, R., Schmidt, M., Herd, A., Nogueira, C., Soares, D.T., Soares, D.S., Tenhunen, J., Santos Pereira, J., Chaves, M. 2006. Hydraulic lift in cork oak trees in a savannah-type Mediterranean ecosystem and its contribution to the local water balance. *Plant Soil* 282, 361-378.
- Le Houérou, H.N. 2006. Agroforestry and silvopastoralism: The role of trees and shrubs (Trubs) in range rehabilitation and development. *Science et Changements planétaires/Sécheresse* 17, 343-348.
- Lin, H. 2010. Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. *Hydrology and Earth System Sciences* 14, 25-45.

- López-Rodríguez, M.D., Salinas-Bonillo, M.J., Torres, M.T., Pacheco-Romero, M., Guirado, E., Castro, H., Cabello, J. 2020. Impulsando estrategias colectivas ciencia-gestión-sociedad para conservar el hábitat de *Ziziphus lotus* (Hábitat Prioritario 5220). *Ecosistemas* 29, 1890.
- Márquez-Barraso S., del Barrio Escribano, G., Ruíz Moreno, A., Simón Zarzoso, J.C., Sanjuán Martínez, M.E., Sánchez Pérez, E., Hidalgo R. 2015. Conectividad del paisaje para tipos de hábitat zonales de interés comunitario en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Martínez Oller, F.F. 2021. Estudio de la comunidad de mamíferos terrestres en la finca de Las Amoladeras (Parque Natural Cabo de Gata-Níjar), y efecto sobre esta del proceso invasivo de dos especies vegetales. Trabajo Fin de Grado inédito. Universidad de Almería, Almería.
- Mendoza-Fernández, A.J., Martínez-Hernández, F., Pérez-García, F.J., Garrido-Becerra, J.A., Benito, B.M., Salmorón-Sánchez, E., Guirado, J., Merlo, M.E., Mota, J.F. 2015. Extreme habitat loss in a Mediterranean habitat: *Maytenus senegalensis* subsp. *europaea*. *Plant Biosystems* 149, 503-511.
- Moreno, D., Ramos, M.A. 2007. New data on *Theba subdentata helicella* (Wood, 1828) (Gastropoda, Helicidae) in Almería (SE Spain). *Iberus* 25, 89-113.
- Mota, J.F., Peñas, J., Castro, H., Cabello, J. 1996. Agricultural development vs biodiversity conservation: The Mediterranean semiarid vegetation in El Ejido (Almería, southeastern Spain). *Biodiversity and Conservation* 5, 1597-1617.
- Mota J.F., Cabello, J., Cerrilo M.I., Rodríguez-Tamayo, M.L. 2004 (Eds.). *Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Murray, B.B.R., Zeppel, M.J., Hose, G.C., Eamus, D. 2003. Groundwater-dependent ecosystems in Australia: It's more than just water for rivers. *Ecological Management and Restoration* 4, 110-113.
- Murray, B.B.R., Hose, G.C., Eamus, D., Licari, D. 2006. Valuation of groundwater-dependent ecosystems: A functional methodology incorporating ecosystem services. *Australian Journal of Botany* 54, 221-229.
- Nadezhkina, N., Ferreira, M., Silva, R., Pacheco, C. 2008. Seasonal variation of water uptake of a *Quercus suber* tree in Central Portugal. *Plant Soil* 305, 105-119.
- Navarro Herrera, A. 2022. Análisis hidrogeoquímico preliminar del acuífero marginal de Torregarcía (Almería). Trabajo Fin de Grado inédito. Universidad de Almería, Almería.
- NRC, National Research Council. 2001. *Basic research opportunities in Earth science*. The National Academies Press, Washington DC.
- Oliveira, R.S., Dawson, T.E., Burgess, S.S.O., Nepstad, D. 2005. Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. *Oecologia* 145, 354-363.
- Peguero-Pina, J.J., Vilagrosa, A., Alonso-Forn, D., Ferrio, J.P., Sancho-Knapik, D., Gil-Pelegrín, E. 2020. Living in drylands: Functional adaptations of trees and shrubs to cope with high temperatures and water scarcity. *Forests* 11, 1028.
- Pérez Latorre, A.V., Cabezudo, B. 2009. *Ziziphus*. En: Blanca, G., Cabezudo, B., Cueto, M., Fernández López, C., Morales Torres, C. (Eds.), *Flora Vascular de Andalucía Oriental*, 3. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 50.
- Pérez Pardo, J. 2021. Análisis de la diversidad de la artropofauna de suelo en matorrales costeros mediterráneos semiáridos frente a escenarios de invasión por agaves. Trabajo Fin de Máster inédito. Universidad de Almería, Almería.

- Phillips, J.D., Pawlik, L., Šamonil, P. 2019. Weathering fronts. *Earth-Science Reviews* 198, 102925.
- Piñero, F.S., Tinaut, A., Aguirre-Segura, A., Miñano, J., Lencina, J.L., Ortiz-Sánchez, F.J., Pérez-López, F.J. 2011. Terrestrial arthropod fauna of arid areas of SE Spain: diversity, biogeography, and conservation. *Journal of Arid Environments* 75, 1321-1332.
- Prieto, I., Kikvidze, Z., Pugnaire, F.I. 2010. Hydraulic lift: soil processes and transpiration in the Mediterranean leguminous shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. *Plant and Soil* 329, 447-456.
- Puigdefábregas, J. 2005. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surface Processes* 30, 133-147.
- Puigdefábregas, J., Mendizábal, T. 1998. Perspectives on desertification: western Mediterranean. *Journal of Arid Environments* 39, 209-224.
- Querejeta, J.I., Ren, W., Prieto, I. 2021. Vertical decoupling of soil nutrients and water under climate warming reduces plant cumulative nutrient uptake, water-use efficiency and productivity. *New Phytologist* 230,1378-1393.
- Requena-Mullor, J.M. López, E., Castro, A. J., Cabello, J., Virgós, E., González-Miras, E., Castro, H. 2014. Modeling spatial distribution of European badger in arid landscapes: an ecosystem functioning approach. *Landscape Ecology* 29, 843-855.
- Rey, P.J., Cancio, I., Manzaneda, A.J., González-Robles, A., Valera, F., Salido, T., Alcántara, J.M. 2018. Regeneration of a keystone semiarid shrub over its range in Spain: habitat degradation overrides the positive effects of plant-animal mutualisms. *Plant Biology* 20, 1083-1092.
- Reynolds, J.F., Virginia, R.A., Kemp, P.R., De Soyza, A.G., Tremmel, D.C. 1999. Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecological Monographs* 69, 69-106.
- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B., Mortimore et al. 2007. Global desertification: building a science for dryland development. *Science* 316, 847-851.
- Richter, D., Billings, S.A. 2015. 'One physical system': Tansley's ecosystem as Earth's critical zone. *New Phytologist* 206, 900-912.
- Rivas Martínez, S. 1962. Estudio sistemático-ecológico de las Rhamnáceas españolas. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia* 28, 363-398.
- Rivas Goday, S., Bellot, F. 1944. Las formaciones de *Zizyphus lotus* (L.) Lam., en las dunas del Cabo de Gata. *Anales del Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal* 3, 109-126.
- Romo, H., Camero-R., E., García-Barros, E., Munguira, M.L., Maratón Cano, J. 2014. Recorded and potential distributions on the iberian peninsula of species of Lepidoptera listed in the Habitats Directive. *European Journal of Entomology* 111(3), 407-415.
- Ruiz de Clavijo, E., Jiménez, M. 1990. Novedades corológicas para la flora de Andalucía Occidental. *Lagascalia* 16, 130-132.
- Salguero-Gómez, R., Casper, B.B. 2011. A hydraulic explanation for size-specific plant shrinkage: Developmental hydraulic sectoriality. *New Phytologist* 189, 229-240.
- Salinas-Bonillo, M.J., Torres-García, M.T., Paniagua, M.M., Sánchez, M.M., Cabello, J. 2022. Clonal mechanisms that matter in *Agave fourcroydes* and *A. sisalana* invasions in drylands: implications for their management. *Management of Biological Invasions* 14, 80-97.

- Sánchez-Gómez, P., Carrión Vilches, M.A., Hernández González, A., Guerra Montes, J. 2002. Libro rojo de la flora silvestre protegida de la región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Murcia.
- Sánchez-Gómez, P., Guerra Montes, J., Güemes Heras, J., García Rodríguez, J., Hernández González, A., Carrillo López, A.F., Carrión Vilches, M.A. 1998. Flora murciana de interés nacional y europeo. Protección y legislación. Universidad de Murcia/Fundación Séneca/Comunidad Autónoma de Murcia, Murcia.
- Scott, R.L., Cable, W.L., Hultine, K.R. 2008. The ecohydrologic significance of hydraulic redistribution in a semiarid savanna: hydraulic redistribution in a semiarid savanna. *Water Resources Research* 44, W02440.
- Sola, F., Daniele, L., Sánchez Martos, F., Vallejos, A., Urizar, R., Pulido Bosch, A. 2007. Características constructivas de los sondeos para la alimentación de agua de mar a la planta desaladora de Rambla Morales (Almería, SE España). En: Pulido Bosch, A., López Geta, J.A., Ramos González (Eds.), *Los acuíferos costeros: Retos y soluciones*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. pp. 1105-1114.
- Sola, F., Vallejo, A., Moreno, L., López Geta, J.A., Pulido-Bosch, A. 2012. Identification of hydrogeochemical process linked to marine intrusion induced by pumping of a semiconfined mediterranean coastal aquifer. *International Journal of Environmental Science and Technology* 10, 63-76.
- Sörensen, L. 2007. A spatial analysis approach to the global delineation of dryland areas of relevance to the CBD Programme of Work on Dry and Subhumid Lands. UNEP-WCMC, Cambridge.
- Sudimac, S., Sale, V., Kühn, S. 2022. How nature nurtures: Amygdala activity decreases as the result of a one-hour walk in nature. *Molecular Psychiatry* 27, 4446-4452.
- Tengberg, A., Chen, D. 1998. A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso. *Geomorphology* 22, 181-192.
- Tinaut, A., Mira, O., Vidal, J., Aguirre-Segura, A. 2009. Las hormigas de Cabo de Gata (Almería, España), aspectos faunísticos (Hymenoptera, Formicidae). *Boletín de la Asociación Española de Entomología* 33, 227-251.
- Tirado, R. 2009. 5220 Matorrales arborescentes con *Ziziphus* (\*). En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Tirado, R., Bråthen, K.A., Pugnaire, F.I. 2015. Mutual positive effects between shrubs in an arid ecosystem. *Scientific Reports* 5, 14710.
- Tlili, H., Marino, A., Ginestra, G., Cacciola, F., Mondello, L., Miceli, N., Taviano, M.F., Najjaa, H., Nostro, A. 2021. Polyphenolic profile, antibacterial activity and brine shrimp toxicity of leaf extracts from six Tunisian spontaneous species. *Natural Product Research* 35(6), 1057-1063.
- Torres-García, M.T., Oyonarte, C., Cabello, J., Guirado, E., Rodríguez-Lozano, B., Salinas-Bonillo, M.J. 2022. The potential of groundwater-dependent ecosystems to enhance soil biological activity and soil fertility in drylands. *Science of the Total Environment* 826, 154111.
- Torres-García, M.T., Salinas-Bonillo, M.J., Cleverly, J.R., Gisbert, J., Pacheco-Romero, M., Cabello, J. 2021a. A multiple-trait analysis of ecohydrological acclimatisation in a dryland phreatophytic shrub. *Oecologia* 196, 1179-1193.
- Torres-García, M.T., Salinas-Bonillo, M.J., Gázquez-Sánchez, F., Fernández-Cortés, A., Querejeta, J.I., Cabello, J. 2021b. Squandering water in drylands: the water-use strategy of the phreatophyte *Ziziphus lotus* in a groundwater-dependent ecosystem. *American Journal of Botany* 108, 236-248.
- Torres-García, M.T., Salinas-Bonillo, M.J., Pacheco-Romero, M., Cabello, J. 2021c. Modular growth and functional heterophylly of the phreatophyte *Ziziphus lotus*: A trait-based study. *Plant Species Biology* 36, 554-566.







10

ANEXOS

## ANEXO 1. DIVERSIDAD DE ESPECIES VEGETALES

Especies vegetales asociadas al azufaifar y a su entorno. Se indica el biotipo y tamaño según Blanca *et al.* (2009) y en qué formación aparece. Se indican las especies incluídas en el Catálogo Andaluz de la Flora Silvestre Amenazada (categoría “vulnerable”<sup>¶</sup>); †Incluída en el Listado Andaluz de la Flora Silvestre Amenazada (Decreto 23/2012, BOJA n° 60).

Formación	Especie	Familia	Biotipo y tamaño	Distribución
Comunidades de arbustos mixtas	<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.	Rhamnaceae	Macrofanerófito (1-3 m)	Región mediterránea meridional, Arabia y oriente Medio
	<i>Chamaerops humilis</i> L.	Palmae	Macrofanerófito (0,5-3 m)	Región mediterránea occidental
	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell <sup>¶</sup>	Celastraceae	Macrofanerófito (hasta 2 m)	Íbero-norteafricana, África tropical y Asia
	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Anacardiaceae	Macrofanerófito (1-2 m)	Región mediterránea y Región macaronésica
	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	Rhamnaceae	Macrofanerófito (Hasta 5 m)	Región mediterránea
Asociadas a las macollas de <i>Ziziphus lotus</i>	<i>Asparagus albus</i> L.	Asparagaceae	Nanofanerófito (hasta 1 m)	Región mediterránea occidental
	<i>Asparagus horridus</i> L.	Asparagaceae	Nanofanerófito (hasta 1 m)	Región mediterránea occidental y Región macaronésica
	<i>Ballota hirsuta</i> Benth.	Lamiaceae	Caméfito (25-80 cm)	Íbero-norteafricana
	<i>Caralluma europaea</i> (Guss.) N. E. Br.	Asclepiadaceae	Caméfito (10-15 cm)	Íbero-norteafricana
	<i>Lycium intricatum</i> Boiss	Solanaceae	Nanofanerófito (1-2 m)	Región mediterránea
	<i>Periploca angustifolia</i> Labill.	Asclepiadaceae	Nanofanerófito (0,7-2 m)	Íbero-norteafricana
	<i>Rubia peregrina</i> L.	Rubiaceae	Nanofanerófito (0,25-7 m)	Región mediterránea y Atlántica
	<i>Salsola oppositifolia</i> Desf.	Amaranthaceae	Nanofanerófito (hasta 2,5 m)	Región mediterránea occidental y Región macaronésica
	<i>Withania frutescens</i> (L.) Pauquy	Solanaceae	Nanofanerófito (1-2 m)	Íbero-norteafricana y Baleares
Matorrales y tomillares que ocupan la matriz del paisaje	<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter	Asteraceae	Nanofanerófito (0,2-1,5 m)	Región mediterránea

Formación	Especie	Familia	Biotipo y tamaño	Distribución
Matorrales y tomillares que ocupan la matriz del paisaje	<i>Fagonia cretica</i> L.	Zygophyllaceae	Caméfito (10-50 cm)	Región mediterránea
	<i>Frankenia corymbosa</i> Desf.	Frankeniaceae	Caméfito (10-30 cm)	meridional, Región macaronésica y Región sahariana
	<i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench	Asteraceae	Caméfito (15-70 cm)	Íbero-norteafricana
	<i>Launaea arborescens</i> (Batt.) Murb.	Asteraceae	Nanofanerófito (0,4-1,5 m)	Región mediterránea
	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	Brassicaceae	Caméfito (15-30 cm)	Íbero-norteafricana
	<i>Lygeum spartum</i> L.	Poaceae	Hemicriptófito (hasta 0,7 m)	Región mediterránea, Región macaronésica, Región sahariana y Península Arábiga
	<i>Macrochloa tenacissima</i> (L.) Kunth	Poaceae	Hemicriptófito (0,5-2,1 m)	Región mediterránea
	<i>Olea europaea</i> L. var. <i>sylvestris</i> (Mill.) Lehr	Oleaceae	Macrofanerófito (1-10 m)	Región mediterránea
	<i>Ononis ramosissima</i> Desf.	Fabaceae	Caméfito (hasta 60 cm)	Región mediterránea
	<i>Phagnalon rupestre</i> (L.) DC.	Asteraceae	Caméfito (6-30 cm)	Región mediterránea occidental y Región macaronésica
	<i>Retama sphaerocarpa</i> (L.) Boiss.	Fabaceae	Macrofanerófito (hasta 3 m)	Región mediterránea occidental
	<i>Rhamnus lycioides</i> L.	Rhamnaceae	Nanofanerófito (hasta 2,5 m)	Íbero-norteafricana
	<i>Salsola papillosa</i> Willk. †	Chenopodiaceae	Nanofanerófito (30-60 cm)	Región mediterránea occidental
	<i>Teucrium charidemi</i> Sandwith	Lamiaceae	Caméfito (20-35 cm)	Sureste ibérico
Pastizales en los claros del matorral	<i>Ammochloa palaestina</i> Boiss.	Poaceae	Terófito (2-5 cm)	Región mediterránea
	<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link subsp. <i>arundinacea</i> H. Lindb. fil.	Poaceae	Hemicriptófito (20-60 cm)	meridional, Región sahariana y Península arábiga
	<i>Androcymbium gramineum</i> (Cav.) MacBride †	Colchicaceae	Geófito (5-10 cm)	Región mediterránea

Formación	Especie	Familia	Biotipo y tamaño	Distribución
Pastizales en los claros del matorral	<i>Cynomorium coccineum</i> L.¶	Cynomoriaceae	Geófito (5-15 cm)	Región mediterránea y Región macaronésica
	<i>Cyperus capitatus</i> Vand.	Cyperaceae	Hemicriptófito (10-50 cm)	Región mediterránea
	<i>Ifloga spicata</i> (Forssk.) Sch.-Bip.	Asteraceae	Terófito (1-15 cm)	Íbero-norteafricana hasta el SO Asia
	<i>Rostraria pumila</i> (Desf.) Tzvelev	Poaceae	Terófito (4-30 cm)	Subcosmopolita
	<i>Urginea maritima</i> (L.) Baker	Hyacinthaceae	Geófito (50-150 cm)	Región Mediterránea, Región Macaronésica y alrededores
En las ramblas	<i>Nerium oleander</i> L.	Apocynaceae	Macrofanerófito (1-4 m)	Región mediterránea
	<i>Tamarix africana</i> Poir.	Tamaricaceae	Macrofanerófito (hasta 3 m)	Región mediterránea y Región macaronésica
	<i>Tamarix canariensis</i> Willd.	Tamaricaceae	Macrofanerófito (hasta 5 m)	Región mediterránea occidental, Región macaronésica, Región sahariana y Península arábiga
	<i>Tamarix mascatensis</i> Bunge	Tamaricaceae	Macrofanerófito (hasta 3 m)	Región mediterránea

## ANEXO 2. DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS

NOMBRE CIENTÍFICO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GRUPO FUNCIONAL	HÁBITAT
<i>Akis discoidea</i> (Quensel, 1806)	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Detritívoro	Suelo
<i>Argiope lobata</i> (Pallas, 1772)	Arachnida	Araneae	Araneidae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Berberomeloe insignis</i> (Charpentier, 1818)	Insecta	Coleoptera	Meloidae	Herbívoro	Suelo
<i>Bidcoloratilla iberica</i> (Suárez, 1958)	Insecta	Hymenoptera	Mutillidae	Herbívoro	Suelo
<i>Bucculatrix zizyphella</i> (Chrétien, 1907)	Insecta	Lepidoptera	Bucculatricidae	Herbívoro	Dosel vegetal

NOMBRE CIENTÍFICO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GRUPO FUNCIONAL	HÁBITAT
<i>Camponotus amaurus</i> (Espadaler, 1996)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Herbívoro	Ambos
<i>Cataglyphis gadeai</i> (De Haro & Collingwood, 2003)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Detritívoro	Suelo
<i>Cicada barbara</i> (Stal, 1866)	Insecta	Hemiptera	Cicadidae	Herbívoro	Dosel vegetal
<i>Cryptocheilus alternatus</i> (Lepelletier, 1845)	Insecta	Hymenoptera	Pompilidae	Depredador	Ambos
<i>Crematogaster scutellaris</i> (Olivier, 1792)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Detritívoro	Ambos
<i>Erodius carinatus</i> (Solier, 1834)	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Detritívoro	Suelo
<i>Eupelmus muellneri</i> (Ruschka, 1921)	Insecta	Hymenoptera	Eupelmidae	Parasitoide	Dosel vegetal
<i>Exochomus pubescens</i> (Kuster, 1848)	Insecta	Coleoptera	Coccinellidae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Gonomma collingwoodi</i> (Espadaler, 1996)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Herbívoro	Ambos
<i>Lachnaia pubescens</i> (Dufour, 1820)	Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	Herbívoro	Dosel vegetal
<i>Leptotrichus panzeri</i> (Audouin, 1828)	Malacostraca	Isopoda	Porcellionidae	Detritívoro	Suelo
<i>Lycosa hispanica</i> (Walckenaer, 1837)	Arachnida	Araneae	Lycosidae	Depredador	Suelo
<i>Macrolophus pygmaeus</i> (Rambur, 1839)	Insecta	Hemiptera	Miridae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Monomorium subopacum</i> (Smith, 1858)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Detritívoro	Ambos
<i>Neanastatus turneri</i> (Ferrière, 1938)	Insecta	Hymenoptera	Eupelmidae	Parasitoide	Dosel vegetal
<i>Neoscona subfusca</i> (C.L Koch, 1837)	Arachnida	Araneae	Araneidae	Depredador	Dosel vegetal

NOMBRE CIENTÍFICO	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GRUPO FUNCIONAL	HÁBITAT
<i>Ommatoiulus rutilans</i> (C.L. Koch, 1847)	Diplopoda	Julida	Julidae	Detritívoro	Suelo
<i>Orius albidipennis</i> (Reuter, 1884)	Insecta	Hemiptera	Anthocoridae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Orius laevigatus</i> (Fieber, 1860)	Insecta	Hemiptera	Anthocoridae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Pimelia baetica</i> (Solier, 1836)	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Detritívoro	Suelo
<i>Pinalitus conspurcatus</i> (Reuter, 1875)	Insecta	Hemiptera	Miridae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Scarites buparius</i> (Forster, 1771)	Insecta	Coleoptera	Carabidae	Depredador	Suelo
<i>Scaurus rugulosus</i> (Solier, 1838)	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Detritívoro	Suelo
<i>Scolopendra cingulata</i> (Latreille, 1789)	Chilopoda	Scolopendromorpha	Scolopendridae	Depredador	Suelo
<i>Sphincticraerus lethierryi</i> (Desbrochers, 1869)	Insecta	Coleoptera	Curculionidae	Herbívoro	Dosel vegetal
<i>Tarucus theophrastus</i> (Fabricius, 1793)	Insecta	Lepidoptera	Lycaenidae	Herbívoro	Dosel vegetal
<i>Tetramorium semilaeve</i> (André, 1881)	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	Detritívoro	Suelo
<i>Trithemis annulata</i> (Palisot de Beauvois, 1805)	Insecta	Odonata	Libellulidae	Depredador	Dosel vegetal
<i>Trupanea amoena</i> (Frauenfeld, 1857)	Insecta	Diptera	Tephritidae	Herbívoro	Dosel vegetal
<i>Zophosis punctata</i> (Brullé, 1832)	Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Detritívoro	Suelo

### ANEXO 3. DIVERSIDAD DE REPTILES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ABUNDANCIA EN LA LLANURA DE TORREGARCÍA-AMOLADERAS
<i>Acanthodactylus erythrurus</i> (Schinz, 1833)	Lagartija colirroja	Abundante
<i>Blanus cinereus</i> (Vandelli, 1797)	Culebrilla ciega	Escasa
<i>Chalcides bedriagai</i> (Boscá, 1880)	Eslizón ibérico	Moderada
<i>Chamaeleo chamaeleon</i> (Linnaeus, 1758)	Camaleón común	Abundante
<i>Coronella girondica</i> (Daudin, 1803)	Culebra lisa meridional	Moderada
<i>Hemidactylus turcicus</i> (Linnaeus, 1758)	Salamanquesa rosada	Moderada
<i>Hemorrhois hippocrepis</i> (Linnaeus, 1758)	Culebra de herradura	Moderada
<i>Macroprotodon brevis</i> (Günther, 1862)	Culebra de cogulla	Moderada
<i>Malpolon monspessulanus</i> (Hermann, 1804)	Culebra bastarda	Abundante
<i>Podarcis hispanica</i> (Steindachner, 1870)	Lagartija ibérica	Moderada
<i>Podarcis vaucheri</i> (Boulenger, 1905)	Lagartija andaluza	-
<i>Psammotromus algirus</i> (Linnaeus, 1758)	Lagartija colilarga	Abundante
<i>Psammotromus edwardsianus</i> (Dugès, 1829)	Lagartija cenicienta	Abundante
<i>Tarentola mauritanica</i> (Linnaeus, 1758)	Salamanquesa común	Abundante
<i>Testudo graeca</i> (Linnaeus, 1758)	Tortuga mora	-
<i>Timon nevadensis</i> (Buchholz, 1963)	Lagarto bético	Moderada
<i>Zamenis scalaris</i> (Schinz, 1822)	Culebra de escalera	Moderada

### ANEXO 4. DIVERSIDAD DE AVES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ESTATUS
<i>Accipiter nisus</i> (Linnaeus, 1758)	Gavilán común	Ocasional
<i>Alauda arvensis</i> (Linnaeus, 1758)	Alondra común	Invernante
<i>Alectoris rufa</i> (Linnaeus, 1758)	Perdiz roja	Residente, Nidificante
<i>Anthus pratensis</i> (Linnaeus, 1758)	Bisbita común	Invernante
<i>Anthus spinoletta</i> (Linnaeus, 1758)	Bisbita alpino	Invernante
<i>Apus apus</i> (Linnaeus, 1758)	Vencejo común	Estival
<i>Apus pallidus</i> (Shelley, 1870)	Vencejo pálido	Estival

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ESTATUS
<i>Aquila fasciata</i> (Vieillot, 1822)	Águila perdicera	Ocasional
<i>Asio flammeus</i> (Pontoppidan, 1763)	Lechuza campestre	Invernante
<i>Athene noctua</i> (Scopoli, 1769)	Mochuelo europeo	Residente, Nidificante
<i>Bubulcus ibis</i> (Linnaeus, 1758)	Garcilla bueyera	Ocasional
<i>Bucanetes githagineus</i> (Lichtenstein, 1823)	Camachuelo trompetero	Invernante
<i>Burhinus oedicnemus</i> (Linnaeus, 1758)	Alcaraván común	Residente, Nidificante
<i>Calandrella brachydactyla</i> (Leisler, 1814)	Terrera común	Estival, Nidificante
<i>Calandrella rufescens</i> (Vieillot, 1820)	Terrera marismeña	Residente, Nidificante
<i>Caprimulgus ruficollis</i> (Temminck, 1820)	Chotacabras cuellirrojo	Estival, Nidificante
<i>Carduelis carduelis</i> (Linnaeus, 1758)	Jilguero	Residente, Nidificante
<i>Cecropis daurica</i> (Linnaeus, 1771)	Golondrina dáurica	Estival, Nidificante
<i>Cercotrichas galactotes</i> (Temminck, 1820)	Alzacola	Migradora
<i>Charadrius morinellus</i> (Linnaeus, 1758)	Chorlito carambolo	Invernante
<i>Chersophilus duponti</i> (Vieillot, 1820)	Alondra ricotí	Residente, Nidificante
<i>Chloris chloris</i> (Linnaeus, 1758)	Verderón	Residente, Nidificante
<i>Circaetus gallicus</i> (Gmelin, 1788)	Culebrera europea	Estival
<i>Circus pygargus</i> (Linnaeus, 1758)	Aguilucho cenizo	Migradora
<i>Clamator glandarius</i> (Linnaeus, 1758)	Críalo europeo	Estival, Nidificante
<i>Columba livia</i> (Gmelin, 1789)	Paloma bravía	Residente
<i>Columba palumbus</i> (Linnaeus, 1758)	Paloma torcaz	Migradora
<i>Coracias garrulus</i> (Linnaeus, 1758)	Carraca europea	Estival
<i>Corvus corax</i> (Linnaeus, 1758)	Cuervo	Residente
<i>Corvus monedula</i> (Linnaeus, 1758)	Grajilla	Residente, Nidificante
<i>Coturnix coturnix</i> (Linnaeus, 1758)	Codorniz común	Migradora
<i>Cuculus canorus</i> (Linnaeus, 1758)	Cuco común	Migradora
<i>Delichon urbicum</i> (Linnaeus, 1758)	Avión común	Estival
<i>Elanias caeruleus</i> (Desfontaines, 1789)	Elanio común	Ocasional
<i>Emberiza calandra</i> (Linnaeus, 1758)	Triguero	Residente, Nidificante
<i>Erithacus rubecula</i> (Linnaeus, 1758)	Petirrojo	Invernante
<i>Falco columbarius</i> (Linnaeus, 1758)	Esmerejón común	Invernante
<i>Falco naumanni</i> (Fleischer, 1818)	Cernícalo primilla	Migradora
<i>Falco peregrinus</i> (Tunstall, 1771)	Halcón peregrino	Ocasional

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ESTATUS
<i>Falco subbuteo</i> (Linnaeus, 1758)	Alcotán	Migradora
<i>Falco tinnunculus</i> (Linnaeus, 1758)	Cernícalo vulgar	Residente, Nidificante
<i>Ficedula hypoleuca</i> (Pallas, 1764)	Papamoscas cerrojillo	Migradora
<i>Fringilla coelebs</i> (Linnaeus, 1758)	Pinzón vulgar	Invernante
<i>Galerida theklae</i> (Brehm, 1857)	Cogujada montesina	Residente, Nidificante
<i>Gelochelidon nilotica</i> (Gmelin, 1789)	Pagaza piconegra	Ocasional
<i>Hieraaetus pennatus</i> (Gmelin, 1788)	Águila calzada	Migradora
<i>Hirundo rustica</i> (Linnaeus, 1758)	Golondrina común	Estival, Nidificante
<i>Iduna opaca</i> (Cabanis, 1850)	Zarcero bereber	Estival, Nidificante
<i>Jynx torquilla</i> (Linnaeus, 1758)	Torcecuello	Invernante
<i>Lanius meridionalis</i> (Temminck, 1820)	Alcaudón real meridional	Residente, Nidificante
<i>Lanius senator</i> (Linnaeus, 1758)	Alcaudón común	Estival, Nidificante
<i>Linaria cannabina</i> (Linnaeus, 1758)	Pardillo	Invernante
<i>Luscinia megarhynchos</i> (Brehm, 1831)	Ruiseñor común	Migradora
<i>Merops apiaster</i> (Linnaeus, 1758)	Abejaruco europeo	Estival, Nidificante
<i>Milvus migrans</i> (Boddaert, 1783)	Milano negro	Migradora
<i>Milvus milvus</i> (Linnaeus, 1758)	Milano real	Migradora
<i>Motacilla alba</i> (Linnaeus, 1758)	Lavandera blanca	Invernante
<i>Motacilla flava</i> (Linnaeus, 1758)	Lavandera boyera	Migradora
<i>Muscicapa striata</i> (Pallas, 1764)	Papamoscas gris	Estival, Nidificante
<i>Numenius arquata</i> (Linnaeus, 1758)	Zarapito real	Migradora
<i>Oenanthe hispanica</i> (Linnaeus, 1758)	Collalba rubia	Estival, Nidificante
<i>Oenanthe leucura</i> (Gmelin, 1789)	Collalba negra	Residente, Nidificante
<i>Oenanthe oenanthe</i> (Linnaeus, 1758)	Collalba gris	Migradora
<i>Oriolus oriolus</i> (Linnaeus, 1758)	Oropéndola	Migradora
<i>Otus scops</i> (Linnaeus, 1758)	Autillo europeo	Estival, Nidificante
<i>Parus major</i> (Linnaeus, 1758)	Carbonero común	Migradora
<i>Passer domesticus</i> (Linnaeus, 1758)	Gorrión común	Residente, Nidificante
<i>Pernis apivorus</i> (Linnaeus, 1758)	Abejero europeo	Migradora
<i>Phoenicurus ochruros</i> (Gmelin, 1774)	Colirrojo tizón	Invernante
<i>Phoenicurus phoenicurus</i> (Linnaeus, 1758)	Colirrojo real	Migradora

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ESTATUS
<i>Phylloscopus bonelli</i> (Vieillot, 1819)	Mosquitero papialbo	Migrador
<i>Phylloscopus collybita</i> (Vieillot, 1817)	Mosquitero común	Invernante
<i>Pica pica</i> (Linnaeus, 1758)	Urraca	Residente, Nidificante
<i>Picus viridis</i> (Linnaeus, 1758)	Pito real	Ocasional
<i>Pluvialis apricaria</i> (Linnaeus, 1758)	Chorlito dorado europeo	Invernante
<i>Pterocles orientalis</i> (Linnaeus, 1758)	Ganga ortega	Residente, Nidificante
<i>Ptyonoprogne rupestris</i> (Scopoli, 1769)	Avión roquero	Invernante
<i>Saxicola rubetra</i> (Linnaeus, 1758)	Tarabilla norteña	Migradora
<i>Saxicola torquatus</i> (Linnaeus, 1766)	Tarabilla común	Invernante
<i>Serinus serinus</i> (Linnaeus, 1766)	Verdecillo	Residente, Nidificante
<i>Spinus spinus</i> (Linnaeus, 1758)	Lúgano	Invernante
<i>Streptopelia decaocto</i> (Frisvaldszky, 1838)	Tórtola turca	Residente
<i>Streptopelia turtur</i> (Linnaeus, 1758)	Tórtola europea	Estival, Nidificante
<i>Sturnus unicolor</i> (Temminck, 1820)	Estornino negro	Residente
<i>Sturnus vulgaris</i> (Linnaeus, 1758)	Estornino pinto	Invernante
<i>Sylvia atricapilla</i> (Linnaeus, 1758)	Curruca capiroxada	Invernante
<i>Sylvia cantillans</i> (Pallas, 1764)	Curruca carrasqueña	Estival, Nidificante
<i>Sylvia communis</i> (Latham, 1787)	Curruca zarcera	Migradora
<i>Sylvia conspicillata</i> (Temminck, 1820)	Curruca tomillera	Residente, Nidificante
<i>Sylvia melanocephala</i> (Gmelin, 1789)	Curruca cabecinegra	Residente, Nidificante
<i>Sylvia undata</i> (Boddaert, 1783)	Curruca rabilarga	Residente, Nidificante
<i>Tetrax tetrax</i> (Linnaeus, 1758)	Sisón común	Invernante
<i>Turdus iliacus</i> (Linnaeus, 1766)	Zorzal alirrojo	Migradora
<i>Turdus merula</i> (Linnaeus, 1758)	Mirlo común	Residente, Nidificante
<i>Turdus philomelos</i> (Brehm, 1831)	Zorzal común	Invernante
<i>Upupa epops</i> (Linnaeus, 1758)	Abubilla	Residente, Nidificante

## ANEXO 5. DIVERSIDAD DE MAMÍFEROS

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Apodemus sylvaticus</i> (Linnaeus, 1758)	Ratón de campo
<i>Crocidura russula</i> (Hermann, 1780)	Musaraña común
<i>Elyomis quercinus</i> (Linnaeus, 1766)	Lirón careto
<i>Erinaceus europaeus</i> (Linnaeus, 1758)	Erizo común
<i>Genetta genetta</i> (Linnaeus, 1758)	Gineta
<i>Lepus granatensis</i> (Rosenhauer, 1856)	Liebre ibérica
<i>Martes foina</i> (Erxleben, 1777)	Guarduña
<i>Meles meles</i> (Linnaeus, 1758)	Tejón
<i>Mus musculus</i> (Linnaeus, 1758)	Ratón común
<i>Mus spretus</i> (Lataste, 1883)	Ratón moruno
<i>Oryctolagus cuniculus</i> (Linnaeus, 1758)	Conejo
<i>Rattus norvegicus</i> (Berkenhout, 1769)	Rata parda
<i>Rattus rattus</i> (Linnaeus, 1758)	Rata negra
<i>Suncus etruscus</i> (Savi, 1822)	Musarañita
<i>Sus scrofa</i> (Linnaeus, 1758)	Jabalí
<i>Vulpes vulpes</i> (Linnaeus, 1758)	Zorro

# GLOSARIO

**Acuífero:** cualquier material geológico que es capaz de acumular y transmitir agua, bien a través de los poros o bien a través de las fisuras y fracturas que contiene.

**Anisohídria:** capacidad de algunas plantas para sobrellevar el estrés hídrico sin reducir la fotosíntesis ni la transpiración (i.e., sin cerrar los estomas). Comportamiento contrario a la isohidria.

**Atributos morfofuncionales:** características de las plantas que determinan su reproducción y crecimiento.

**Arquitectura en jaula:** estructura vegetal intrincada y densa frecuente en especies leñosas que han evolucionado en ambientes con alta presión de herbívoros.

**Cambio global:** conjunto de cambios ambientales que se derivan de las actividades humanas sobre el planeta, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra.

**Cambio climático:** es la modificación de la temperatura y del resto de variables del clima, que se está produciendo con una velocidad e intensidad sin precedentes en la historia de la humanidad, como consecuencia de la actividad humana. La quema de combustibles fósiles es la principal causa de generación de gases de efecto invernadero y es, por tanto, la causa detrás de esta grave amenaza medioambiental, la mayor a la que se enfrenta la humanidad.

**Cambios de usos y coberturas del suelo:** este término se usa para referirnos a la modificación humana de la superficie terrestre. Aunque los seres humanos han estado modificando la Tierra para obtener alimentos y otros productos esenciales durante miles de años, las tasas actuales, extensiones e intensidades de estos cambios no tienen precedentes. Estos cambios subyacen a los principales problemas ambientales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del agua, el suelo y el aire.

**Ciclado de nutrientes:** proceso por el cual la biomasa/materia orgánica es mineralizada por factores bióticos como la microbiota del suelo, o abióticos como la radiación solar, y nutrientes son liberados y puestos a disposición del ecosistema. Las plantas obtienen los nutrientes del suelo a través de sus raíces para construir nueva biomasa.

**Crecimiento modular:** tipo de crecimiento de las plantas basado en la repetición secuencial de unidades funcionales básicas como las yemas, los brotes, o las ramas.

**Contribuciones de la naturaleza a las personas:** contribuciones positivas o negativas de la biodiversidad (entendida como la diversidad de organismos, ecosistemas y sus procesos ecológicos y evolutivos asociados) a la calidad de vida de las personas. Dichas contribuciones pueden ser materiales (e.g., comida, energía), no materiales (e.g., recreación, inspiración, cohesión social), y de regulación (e.g., del ciclo hidrológico, de la fertilidad del suelo). Este concepto se construye sobre el concepto de servicios de los ecosistemas (ver abajo), y avanza en reconocer el papel de la cultura en la definición de los vínculos entre

las personas y la naturaleza, así como el de los conocimientos indígenas y tradicionales para entender dichas contribuciones.

**Desertificación:** proceso de degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y secas subhúmedas como resultado de varios factores que incluyen cambios en el clima y en las actividades humanas. La desertificación afecta a la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios ecosistémicos. En función de ello actualmente se emplea el término desertificación para designar la reducción o pérdida de productividad primaria, integridad ecológica o valores para los humanos.

**Ecosistema dependiente de aguas subterráneas:** tipo de ecosistema que necesita de esta fuente de agua para mantener su composición y funcionamiento.

**Eficiencia en el uso del agua:** relación entre la tasa fotosintética de una planta (cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido por unidad de tiempo) y la tasa transpirativa (cantidad de agua perdida por unidad de tiempo).

**Especie ingeniera del ecosistema:** son organismos que directa o indirectamente modulan la disponibilidad de recursos para otras especies, causando cambios en el estado físico de los materiales bióticos o abióticos. Al hacerlo, modifican, mantienen y/o crean hábitats.

**Especie exótica invasora:** Especie foránea introducida, de forma accidental o intencionada, por la actividad humana que se reproduce y expande en los ecosistemas receptores de forma desproporcionada, alterando sus condiciones físico-químicas y biológicas.

**Estoma:** abertura microscópica en la epidermis de las hojas de las plantas, con dos células especiales en sus bordes, que permite realizar el intercambio gaseoso entre la planta y la atmósfera.

**Evapotranspiración:** se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo.

**Facilitación ecológica:** describe interacciones entre especies que benefician al menos a uno de los participantes sin causar daño a ninguno de ellos. La facilitación puede caracterizarse como mutualista, cuando ambas especies se benefician, o comensalista, en la cual una especie se beneficia sin perjudicar a la otra.

**Fotosíntesis:** proceso metabólico de las plantas por el que se sintetizan moléculas orgánicas a partir de otras inorgánicas, usando la energía luminosa. A través de este proceso las plantas transforman el dióxido de carbono de la atmósfera en hidratos de carbono que se incorporan a la estructura de la planta y oxígeno que es liberado a la atmósfera. Este es el proceso biológico más importante del planeta ya que permite la incorporación de la energía solar en la vida, y es fundamental para mitigar el cambio climático.

**Freatófito facultativo:** planta/especie que obtiene parcialmente agua subterránea.

**Gestión adaptativa:** es un proceso sistemático y cíclico para mejorar continuamente las políticas y prácticas de gestión basado en las lecciones aprendidas a partir de programas operativos. Es un método de trabajo que se usa para proporcionar retroalimentación a los gestores. El seguimiento continuado de los efectos de las acciones de gestión proporciona información para determinar si las prácticas que se están ejecutando deben ser cambiadas para alcanzar el objetivo deseado.

**Hábitat prioritario:** áreas naturales y seminaturales, terrestres o acuáticas del territorio europeo, cuya conservación supone una especial responsabilidad, habida cuenta de su reducida área de distribución natural en el territorio de la Unión.

**Heterofilia:** diferencia en la forma/tamaño de las hojas dentro de una misma planta.

**Isohídria:** capacidad de algunas plantas para responder al estrés hídrico evitando la pérdida de agua (transpiración), pero también limitando la fotosíntesis, mediante el cierre/control de los estomas. Comportamiento contrario a la anisohídria.

**Levantamiento hidráulico:** movimiento del agua desde capas más profundas y húmedas del suelo a capas más superficiales y secas, promovido por algunas plantas.

**Mineralización de la materia orgánica:** proceso de transformación del carbono y los nutrientes de la materia orgánica en formas disponibles para las plantas (i.e., que pueden ser absorbidas por estas).

**Nebkas:** tipo particular de duna que se forma en contacto con un grupo de plantas. Es un relieve de viento creado y modelado por la acción del viento. Las nebkas son comunes y se encuentran en muchas zonas desérticas partes del mundo.

**Parasitoide:** insecto que durante su estado larvario se alimenta y desarrolla dentro o sobre otro animal invertebrado (el hospedador), que acaba matando. Los insectos parasitoides son los enemigos naturales más utilizados en el control biológico aplicado y juegan un papel fundamental en el control biológico natural. La mayoría de especies de insectos parasitoides pertenecen a los órdenes Hymenoptera y Diptera.

**Plasticidad fenotípica:** se refiere a cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es, por tanto, la propiedad de un genotipo de producir más de un fenotipo cuando el organismo se halla en diferentes condiciones ambientales.

**Productividad Primaria Neta (PPN):** es la energía total fijada por fotosíntesis por las plantas menos la energía empleada en la respiración. En otras palabras, es la tasa a la que la energía es almacenada como biomasa por las plantas y otros productores primarios, y que está a disposición de los consumidores del ecosistema.

**Reclutamiento:** en dinámica de poblaciones, el reclutamiento es el proceso por el que se añaden nuevos individuos a una población, ya sea por nacimiento y maduración o por inmigración.

**Resiliencia:** es la capacidad de un sistema de recuperar su estado original tras una perturbación. Expresa, por tanto, la capacidad de un ecosistema de absorber la perturbación y conservar su capacidad de auto-organización y evolución.

**Secuestro de carbono:** es la captura o retirada a largo plazo de CO<sub>2</sub> de la atmósfera para retrasar o disminuir el efecto invernadero con el fin de mitigar el calentamiento global

**Servicios de los ecosistemas:** son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento (p.ej., comida, agua, madera, fibras), de regulación (p.ej., del clima, inundaciones, residuos, calidad del agua), culturales (p.ej., recreacionales, estéticos, espirituales), y de soporte (p.ej., formación del suelo, fotosíntesis, ciclado de nutrientes).

**Sondeo piezométrico:** construcción lineal que se realiza en vertical hacia el subsuelo, en forma de tubería hueca de unos decímetros de diámetro, destinada a medir y observar la profundidad del agua en un acuífero (nivel piezométrico), además de otras características del mismo (temperatura, salinidad del agua, entre otras). Se realiza con medios mecánicos especializados (máquinas de perforación), y suele revestirse con materiales plásticos o metálicos.

**Suelo:** es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física o química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

**Zona crítica (ZC):** capa del planeta en la que interactúan la roca, el suelo, el agua, el aire y los organismos vivos. La interacción de estos componentes es fundamental en la regulación de las funciones ecosistémicas y determina la disponibilidad de los recursos que sustentan la vida, incluida nuestra producción de alimentos y la calidad del agua.

**Zona no saturada:** es la zona comprendida entre la superficie topográfica y el límite superior de la zona saturada. Incluye al suelo y alberga una cohorte de especies microbianas que resultan determinantes en muchos procesos ecológicos y ambientales.

**Zona saturada:** es la zona del acuífero en la que los poros están completamente rellenos de agua. En esta zona, la presión del agua es superior a la de la atmósfera.

**Zona vadosa (ZV):** Porción del subsuelo que se extiende entre la superficie y la parte superior del nivel freático principal, comúnmente es llamada zona de aireación o zona no saturada. La Zona Vadosa (ZV) da cuenta de los materiales y estructuras que acaecen entre la superficie terrestre emergida y las aguas subterráneas, por lo que incluye al suelo y al regolito.

# AGRADECIMIENTOS

Este manual es una compilación del conocimiento que existe hasta el momento sobre el funcionamiento y la estructura de los matorrales arborescentes de *Ziziphus lotus*, denominados localmente como azufaifares o matorrales de arto blanco. La mayor parte de este conocimiento se ha producido en el Centro Andaluz para el Cambio Global / Hermelindo Castro (ENGLOBA), en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED. Este proyecto nos ha permitido centrar nuestra investigación en la comprensión de las funciones y servicios de los ecosistemas áridos para apoyar su gestión, desplegando para ello una infraestructura de campo en la llanura litoral de Torregarcía-Amoladeras (Almería) a partir de la que seguimos generando datos. Ambos, infraestructuras y datos, están siendo la base para el desarrollo del Observatorio de Zonas Áridas de Cambio Global. Los avances realizados a partir de estos fundamentos operativos han sido posibles gracias a las tesis doctorales de María Trinidad Torres y Emilio Guirado, y a algunos ensayos realizados en trabajos fin de estudios de los estudiantes del Máster Universitario en Uso Sostenible de Recursos Naturales y Servicios Ecosistémicos y del Grado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Almería. En este esquema de trabajo debemos también mencionar el tratamiento de muestras que realizaron varios técnicos de garantía juvenil y algunos estudiantes que realizaron las prácticas de empresa en el ENGLOBA. Por ello queremos dar las gracias a Geliana Aranguren, Meryen Benidir, Juan José Castillo, José Francisco Díaz, Pascalina Gopou, Claudia Guillén, Mónica León, Francisco Martínez, Antonio Montoya, María del Mar Paniagua, Jesús Pérez, Dolores Romero, Ana Belén Sánchez, María Rodríguez, María del Mar Sánchez y Juan Francisco Sedeño.

Estamos especialmente agradecidos a Rut Aspizua, José Miguel Barea y Lucía Tejero, que junto a Javier Cano, director general del proyecto LIFE ADAPTAMED, nos dieron su apoyo continuado durante estos 7 años, y sin cuyo buen hacer y dedicación burocrática hubiera sido imposible llegar a buen puerto. En este mismo orden de ideas queremos expresar también nuestro agradecimiento a Javier Sánchez e Ignacio Henares, responsables del antiguo equipo de dirección del Espacio Natural de Sierra Nevada, ya que impulsaron la solicitud del pro-

yecto y consideraron en todo momento la inclusión del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar como uno de los lugares de estudio junto a los Parques Nacionales y Naturales de Sierra Nevada y Doñana.

Queremos también dar las gracias a Estefanía Rodríguez y Mónica González que al mostrarnos sus resultados de investigación en Biodiversidad y Control biológico, nos inspiraron en la búsqueda de insectos útiles para las plagas agrícolas como servicio ecosistémico fundamental del azufaiifar. Estamos convencidos de que esta es una línea de trabajo que nos permitirá trasladar a la sociedad almeriense la importancia de conservar ecosistemas naturales para apoyar la agricultura en la provincia. Así mismo, Miguel Cueto, Francisco Rodríguez (Faluke) y Jan Van der Blom nos proporcionaron amablemente fotografías de especies de flora y fauna de gran calidad que harán más bonito el manual. En un ámbito paralelo y desde el ecoturismo, fue un regalo inesperado la promoción y empeño que Pako Romero y Mónica López, de la empresa Subparke, pusieron en la difusión y uso de la ruta del cambio climático desde el Centro de Interpretación de Visitantes del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar. Son este tipo de acciones las que más contribuyen a la creación de valores de la biodiversidad entre la sociedad.

Finalmente, queremos mostrar nuestro agradecimiento a Lourdes Lázaro, Santiago Suárez y a Andrés Alcántara, del Centro de Cooperación para el Mediterráneo de la UICN por las gestiones administrativas que han posibilitado la edición de este manual.

Agradecemos enormemente a Ricardo Orts su apoyo indispensable en todas las tareas burocráticas y organizativas de los proyectos que desarrollamos en el ENGLOBALA, y en particular, del enorme volumen de gestión que ha supuesto el proyecto LIFE ADAPTAMED al que se ha tenido que enfrentar todos estos años, haciéndonos la vida más fácil.







Beneficiario Coordinador



Beneficiarios asociados



Cofinanciador

