Protocolo de prevención, detección temprana y control de *Azolla* spp. (Helecho de agua)



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

Grupo de Trabajo de Especies Exóticas Invasoras, Comité de Flora y Fauna Silvestres

Este Protocolo forma parte de la "*Estrategia Española para la gestión, control y posible erradicación de las especies exóticas invasoras en los medios acuáticos continentales*".

Este protocolo se basa en la información contenida en
"PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN, DETECCIÓN TEMPRANA Y ERRADICACIÓN Y CONTROL DE
Azolla filiculoides Lam.",
documento redactado en el marco del Proyecto LIFE10 NAT/ES/582
"Lucha contra especies invasoras en las cuencas hidrográficas del Tajo y del Guadiana en la Península Ibérica"
(LIFE+ INVASEP www.invasep.eu).

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4
   1.1. Distribución 4
   1.2. Vías de entrada 6
   1.3. Factores que condicionan el desarrollo de la especie 6
   1.4. Estatus legal 8
   1.5. Impactos 8
      1.5.1. Impactos medioambientales 8
      1.5.2. Impactos sociales 9
      1.5.3. Impactos económicos 9
2. OBJETIVOS 9
3. ACTUACIONES 10
   3.1. Colaboración transfronteriza 10
   3.2. Prevención 10
      3.2.1. Actuaciones para prevenir la entrada de la especie 11
   3.3. Medidas de actuación 13
      3.3.1. Detección temprana y actuación inmediata 14
      3.3.2. Control y gestión de las poblaciones 15
4. REFERENCIAS 23
ANEJO 1: EJEMPLO DE FICHA DE CAMPO 26

1. INTRODUCCIÓN

El género *Azolla* agrupa a varias especies de diminutos helechos acuáticos que flotan libremente, de gran plasticidad morfológica y fenotípica. Las diferentes especies de este género son difíciles de distinguir entre sí debido a su morfología cambiante influenciada por las distintas condiciones ambientales, siendo los estudios citológicos el medio más fiable para la diferenciación. Cuentan con un rizoma principal que se ramifica en rizomas secundarios con raíces adventicias marrones y numerosas que cuelgan en el agua. Los tallos, de hasta 15 cm de largo, están muy ramificados. Las hojas, papilosas, son pequeñas, dispuestas de forma alterna, están imbricadas, bilobuladas, de 1 a 2 mm de largo, y con un margen hialino. Los lóbulos superiores suelen ser más pequeños que los inferiores. El color varía del verde al anaranjado y al rojo o púrpura. Las megásporas cuentan con tres flotadores y las micrósporas se presentan agrupadas en masas mucilaginosas denominadas “másulas”.

Esporula de julio a septiembre y se reproduce también por fragmentación. Los densos tapices que pueden llegar a formar limitan la llegada de luz impidiendo el intercambio gaseoso entre el aire y el agua y favoreciendo procesos de anoxia. Estas modificaciones pueden provocar efectos adversos sobre la flora autóctona, lo que a su vez puede provocar cambios dramáticos en las relaciones tróficas del conjunto del ecosistema acuático. Por otro lado, debido a la acumulación de masas de individuos, pueden generar problemas en infraestructuras hidráulicas, así como interferencias en actividades como la pesca y la navegación.

Los mecanismos de reproducción de la *Azolla* son altamente específicos, pudiendo reproducirse tanto vegetativamente como sexualmente. La reproducción vegetativa se lleva a cabo por fragmentación de los tallos, permitiendo una rápida propagación de la especie, pudiendo duplicar su masa en sólo unos días. Cuando las condiciones se vuelven adversas se produce la reproducción sexual, con la producción de esporas que se liberan al medio hasta que las condiciones se vuelven favorables para su germinación, pudiendo permanecer latentes varios meses.

1.1. Distribución

La distribución natural en la actualidad del género *Azolla* se restringe a América. Es un helecho presente desde Canadá hasta Argentina (Lumpkin & Plucknett, 1980), aunque antes de la última glaciación sí estuvo presente en buena parte de Europa (Szczesniak *et al.,* 2009).

La especie más característica, *A. filiculoides*, ha sido introducida en Europa, África, Asia y Australia, además de en otros países americanos en las que no estaba presente hasta el momento (**Figura 1**).



Figura 1. Distribución de países con presencia de *A. filiculoides* en 2020 (extraído de www.cabi.org/isc).

La primera vez que se registró en Europa, durante la época reciente, fue a finales del siglo XIX (Szczesniak *et al.,* 2009).

En la Península Ibérica, el primer registro se produjo en 1920 en el río Sado (Pereira *et al.,* 2001), un río localizado al sur de Lisboa (Portugal). Poco después, la especie comenzó su expansión hacia otros ríos portugueses y hacia España, donde se produjo la primera observación en 1957, en el río Llobregat de Cataluña (García-Murillo *et al.,* 2007).

En los últimos años, el helecho de agua se ha extendido por buena parte de España, con numerosos registros distribuidos por masas de agua de Andalucía, Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana, Extremadura, Galicia, Madrid y País Vasco (García-Murillo *et al.,* 2007; MITECO, 2019, **Figura 2**).

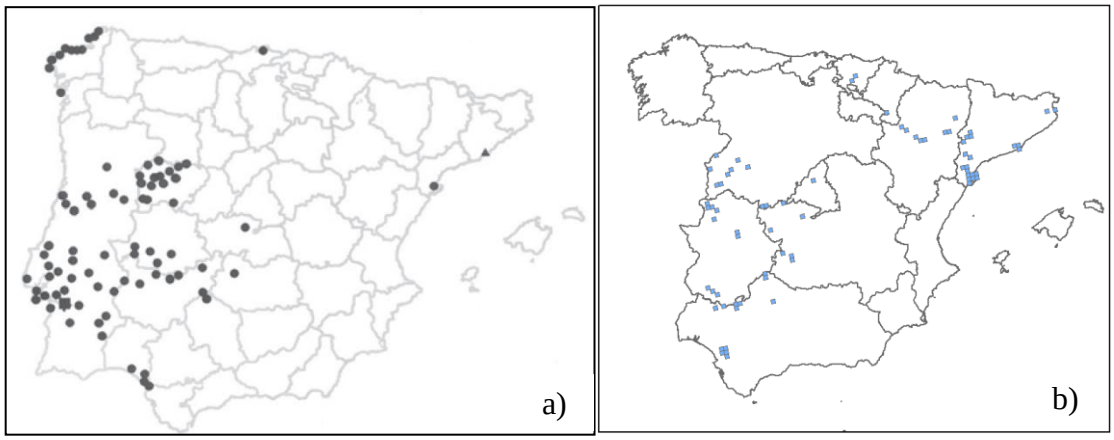


Figura 2. a) Distribución de *Azolla filiculoides* en la Península Ibérica (extraído de García-Murillo *et al.,* 2007). b) Distribución del género *Azolla* en España peninsular (MITECO, 2019).

La distribución reflejada en la **Figura 2b** procede de los programas de seguimiento tanto de comunidades autónomas como de confederaciones hidrográficas. Sin

embargo, se acepta que debe ser bastante mayor, puesto que existen numerosas observaciones más allá de las que disponen las administraciones.

1.2. Vías de entrada

Azolla filiculoides, la especie tipo del género, se encuentra ampliamente distribuida en la actualidad. Ha sido dispersada por una gran variedad de mecanismos en los que, siempre, ha existido una participación fundamental del ser humano (Lumpkin & Plucknett, 1982).

Entre los mecanismos accidentales para su traslocación desde la zona nativa se encuentran el transporte de mercancías (aguas de lastre de barcos, agua con peces, etc.), pequeños fragmentos adheridos al cuerpo/patas de aves acuáticas, así como a través de peces, roedores, anfibios y la dispersión hidrócora de esporas y fragmentos (MITECO, 2020). También como contaminación en semillas de arroz, ya que el helecho de agua es un abono rico en nitrógeno debido a la simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae*. De hecho, el estudio de la simbiosis entre el helecho y la cianobacteria también ha sido fuente de dispersión en el mundo (Carrapiço, 2010). Existe, sin embargo, otra vía de entrada debida al comercio de plantas acuáticas con fin ornamental en acuariofilia y jardinería, de donde ha podido escapar accidentalmente al medio natural. No obstante, debe tenerse en cuenta que al tratarse de una especie considerada legalmente como invasora (véase apartado 1.3) su comercio, actualmente, se encuentra prohibido en todo el territorio nacional.

A la vista de lo anterior, se sugiere que *A. filiculoides* apareció casi al mismo tiempo, pero de manera independiente en diferentes lugares de Europa (Szczesniak *et al.,* 2009).

Según García-Murillo (2007), su entrada en España parece haber tenido varios orígenes posibles de entre los anteriores. Por un lado, parece que se produjo la introducción accidental asociada al cultivo del arroz y, por otro, existen evidencias de una entrada intencionada como planta ornamental.

1.3. Factores que condicionan el desarrollo de la especie

El hábitat preferente de *Azolla* son humedales y cursos lentos de agua, tanto naturales como artificiales, con altos niveles de eutrofización debido a actividades agrícolas, ganaderas, industriales y efluentes domésticos. Puesto que su simbiosis con el alga *Anabaena azollae* le permite fijar nitrógeno atmosférico, todos los autores coinciden en que es la concentración de fósforo disuelto en el agua el factor limitante que controla el crecimiento de *Azolla* y el responsable de que este macrófito acuático pueda actuar como una especie invasora.

Azolla comienza a comportarse como tal cuando dicha concentración supera los 0,4-0,5 mg P/l (en estudios llevados a cabo en Doñana, la extinción del 90% y del 100% de la vegetación sumergida se da cuando se alcanzan valores de 0,69-0,99 mg P/l respectivamente). No obstante, el nivel de nitrógeno que contenga el agua interfiere con el rango de fijación del nitrógeno atmosférico. Altas concentraciones de fósforo asociados con valores bajos de nitrógeno crean condiciones favorables para el crecimiento de *Azolla* cuando la temperatura del agua se aproxima 15°C.

La temperatura ambiental es otro importante factor regulador del crecimiento de esta planta, viéndose muy limitado a temperaturas medias-bajas, de entre 5-10ºC o inferiores, y a temperaturas medias-altas, que se convierten en letales a partir de los 35ºC. El desarrollo óptimo se da entre los 18 y 28ºC. El pH también es un parámetro muy importante que hay que tener en cuenta. Puede sobrevivir a pH comprendidos entre 3,5 y 10, y su óptimo de crecimiento se encuentra entre 4,5 y 7,5. La radiación solar también es un factor determinante para la especie ya que va a influir en el pH y la temperatura. El rango de pH óptimo es directamente proporcional a la radiación (siempre que se encuentre en el rango de supervivencia del helecho). Paralelamente, el rango de temperatura óptimo para el crecimiento también es proporcional a la radiación solar.

Por último, la salinidad del agua también influye sobre la tasa de crecimiento de *Azolla*. Esta decrece cuando aumenta la concentración salina. Es capaz de soportar altas concentraciones de sales disueltas y prosperar en lugares en los que otros macrófitos acuáticos flotantes que viven en aguas eutróficas, como *Lemna minor*, mueren por exceso de sal. En estudios llevados a cabo en Doñana, se concluye que el límite de tolerancia se establece entre 8.000 y 12.000 µS/cm.

La variación interanual de la precipitación y el tiempo de inicio de la inundación influye en el crecimiento de las poblaciones localizadas en humedales temporales, limitando su germinación y crecimiento a periodos donde existe disponibilidad de agua. Además, la sequía anual en estos medios supone una regulación anual de sus poblaciones puesto que cuando se produce, antes de la desecación completa de las masas de agua, se ocasionan condiciones de anoxia y un aumento de la temperatura, conductividad y de los valores totales de concentración de nutrientes que llegan a superar el rango que puede soportar esta especie.

En cuanto a la reproducción, la asexual o vegetativa se da sobre todo en medios permanentes y es el proceso más frecuente. Este modo de reproducción le permite un crecimiento muy rápido y expansivo. En condiciones ambientales óptimas, la productividad de *Azolla* alcanza valores de 24 g de materia seca por m^2/día y su tasa de crecimiento medio es del 15% diario, lo que indica que es capaz de doblar su masa en sólo 6 días. Frente a condiciones adversas, la especie responde por medio de reproducción sexual con la producción de esporas que se liberan en el medio hasta que las condiciones vuelven ser favorables para su germinación (en aguas estancadas se han encontrado esporas viables formadas tres años antes).

Por otro lado, los cambios en las condiciones ambientales de los ríos debido a actividades agrícolas y ganaderas también contribuyen decisivamente a su expansión. Existen muchos cauces en la cuenca del Tajo -así como en zonas portuguesas próximas al pantano de Cedillo- con una elevada incorporación de nutrientes provenientes de las actividades ganaderas. Probablemente los "*bloom*" observados en 2009 y 2020 en el Parque Natural del Tajo Internacional coinciden con altas concentraciones de fósforo en el agua asociado a estas actividades, junto al escaso caudal y elevadas temperaturas (y probablemente alta esporulación), que propician el crecimiento y desarrollo desmesurado de la planta.

Los elementos que condicionan el crecimiento desenfrenado de *Azolla* son las condiciones físico-químicas de las aguas y las características del cauce. En este sentido, una tarea decisiva para el éxito de cualquier protocolo debería centrarse en prevenir posibles facilitadores a la invasión y, sobre todo, en controlar los vertidos que llegan a las masas de agua invadidas por esta especie.

1.4. Estatus legal

Todo el género *Azolla* se encuentra incluido en el Catálogo español de especies exóticas invasoras, desarrollado a través del Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto. De este modo, la posesión, transporte, tráfico y comercio de ejemplares vivos, restos o propágulos, que pudieran sobrevivir o reproducirse de cualquier especie de este género se encuentra prohibida en España, según establece el artículo 64.5 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

1.5. Impactos

El helecho de agua está considerado una de las especies exóticas invasoras con mayor éxito de invasión a nivel mundial. A pesar de ser endémica del continente americano, se ha expandido por la mayor parte del resto de regiones, cubriendo totalmente numerosas masas de agua debido a su fácil crecimiento. Ello ha originado impactos muy diversos (Hill, 2020) pero que se pueden agrupar en medioambientales, sociales y económicos, aunque existe una intensa relación entre ellos.

1.5.1. Impactos medioambientales

Las masas de agua en las que *Azolla* está presente y el flujo de agua superficial no es especialmente intenso se cubren por un importante tapiz del helecho. Esto hace que se produzcan fenómenos en cascada, que inciden directamente sobre la biota nativa y altera la composición y funciones de los ecosistemas acuáticos, reduciendo la calidad del agua.

Así pues, la disminución en la cantidad luz presente desde la capa inmediatamente inferior y adyacente al helecho impide que plantas y bacterias autóctonas puedan realizar la fotosíntesis, por lo que acaban muriendo. La descomposición de dichas plantas genera fenómenos de anoxia y una gran cantidad de residuos orgánicos, que desemboca en la eutrofización de las aguas. También, peces y otra fauna dejan de tener alimento y llegan a morir, aumentando el consumo de oxígeno para su descomposición, lo que agrava el problema. Todo ello hace que los organismos asociados a los medios dulceacuícolas se vean notablemente alterados y disminuya la diversidad de especies, permaneciendo únicamente las más generalistas o con mayor capacidad de adaptación a los medios eutróficos y pobres en oxígeno (Gratwicke & Marshall, 2001). A todo ello hay que añadir que, en condiciones climáticas adversas de temperatura (por ejemplo, temperaturas bajas en invierno), parte de los ejemplares de *Azolla* puede llegar a morir, lo que incrementa aún más la cantidad de materia orgánica en el agua, más aún si se tiene en cuenta la capacidad de *Azolla* de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae*.

Por otro lado, el tapiz generado modifica el hábitat de otras especies dependientes del agua y se produce una gran competencia con comunidades de interés o sobre especies endémicas, desplazándolas o provocando su desaparición. Así, aves, mamíferos, anfibios o plantas, ven dificultada o impedida la posibilidad de obtención de alimento o, incluso, de reproducción, al ocupar *Azolla* el mismo nicho ecológico (Andreu y Vilà, 2007).

1.5.2. Impactos sociales

Entre los impactos sociales más destacables, se citan aquellos relacionados con el valor del paisaje, de modo que la presencia de la *Azolla* supone una reducción importante en el valor estético percibido. También son típicos los problemas en la navegación y pesca recreativas, así como en actividades relacionadas con la observación de la naturaleza y la educación ambiental en la misma.

Aunque no se hayan estudiado en profundidad los efectos sobre el agua, sí se conocen algunos efectos negativos sobre su calidad, fundamentalmente debido a la disminución de la cantidad de oxígeno, que repercute en sus propiedades organolépticas, como mal olor, color y un aumento en la turbidez. Esto ha producido en ocasiones que el ganado rechace beber de masas de agua con presencia del helecho o, incluso, que se haya ahogado al considerar tierra firme el tapiz del helecho (Hill, 1997). Por otro lado, las masas de *Azolla* ralentizan el movimiento del agua, por lo que también pueden constituir un hábitat ideal para la proliferación de mosquitos y las enfermedades asociadas.

1.5.3. Impactos económicos

Desde el punto de vista económico, la mayor parte de los impactos se refieren a la gran cantidad de recursos, tanto económicos como técnicos y humanos necesarios para la gestión de esta especie y reducir sus consecuencias. En este sentido, el estudio más completo es el desarrollado por McConnachie *et al.,* (2003), quienes estiman un coste de 276$ por hectárea y año asociado a la gestión y control de la especie en Sudáfrica.

Sin embargo, el impacto generado por la *Azolla* no se restringe únicamente a su gestión. Según el análisis de McConnachie *et al.,* (2003), las repercusiones económicas de *Azolla filiculoides* se encuentran cerca de los 600$ por hectárea y año. Se han descrito problemas directos y específicos en diferentes instalaciones para la gestión del agua, como infraestructuras de extracción, canalización y conducción, hacia parcelas de regadío o a instalaciones ganaderas, por acumulación de individuos en determinados lugares, así como importantes alteraciones en las poblaciones de peces en las que existe algún tipo de rendimiento económico. El estudio llevado a cabo por McConnachie *et al.,* (2003) mostró que los usuarios del agua más afectados por el helecho fueron los que se dedicaban a agricultura o ganadería (71%).

Ligado con el apartado anterior sobre los impactos sociales, las empresas dedicadas a actividades recreativas, pesqueras, hosteleras, etc. en la naturaleza también se ven altamente afectadas, con importantes pérdidas económicas debido al descenso en la clientela por la dificultad o imposibilidad de llevar a cabo su actividad económica.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este protocolo es establecer una serie de pautas para, en primer lugar, prevenir la aparición y el establecimiento en las masas de agua del territorio nacional de esta especie. Y, en segundo lugar, para la gestión de *Azolla* allí donde ya se encuentra asentada. Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Mantener una coordinación efectiva a nivel nacional entre las administraciones

competentes y entre las diferentes unidades de una misma administración.

- Establecer un sistema de vigilancia de las masas de agua susceptibles de invasión por *Azolla* que permita la detección temprana y la actuación inmediata.

- Frenar o reducir la expansión de *Azolla* a nuevos territorios a partir de los ya invadidos.

- Proteger y restaurar los ecosistemas sensibles de elevado interés, con especial atención a los Hábitats de interés comunitario prioritarios recogidos en el anejo I de la Directiva 92/43/CEE, así como los hábitats de especies de flora y fauna amenazadas y en régimen de protección especial en España (y, especialmente, aquellas incluidas en el Catálogo Español de Especies Amenazadas y en los Catálogos autonómicos).

- Difundir y fomentar los métodos de prevención y control que han resultado eficaces y señalar claramente los que no funcionan.

- Realizar una aproximación a una estimación del coste/beneficio que supondría la gestión de las poblaciones de *Azolla* en medios ya invadidos, con objeto de conservar la biodiversidad autóctona y evitar daños socioeconómicos, así como para evitar derroche de recursos si no se garantiza el éxito de la acción.

3. ACTUACIONES

3.1. Colaboración transfronteriza

Dado que la problemática de la *Azolla* no es exclusiva de España, sino que se extiende más allá de la frontera con Portugal, es necesario desarrollar una intensa colaboración transfronteriza entre las administraciones portuguesas y todas las administraciones y organismos implicados en España. Dicha colaboración ya se ha llevado a cabo para el control y eliminación de otras especies exóticas invasoras, como la del Camalote (*Eichhornia crassipes*) en el Río Guadiana (CHG, 2018).

3.2. Prevención

La prevención de la entrada de las especies invasoras es la estrategia más efectiva para evitar o minimizar riesgos. Conlleva un coste mucho menor que la gestión y es la única forma de garantizar el éxito de un plan o actuación.

Para aplicar un protocolo de prevención es necesario crear una red de alerta contando con todos los agentes implicados, empezando por el público, agentes de campo, administraciones, etc., y definiendo responsabilidades y funciones.

Se requiere aplicar la normativa nacional e internacional, dotar de herramientas para su cumplimiento e incentivar a los agentes encargados de su ejecución para obrar con rapidez ante los hechos relacionados con una posible introducción de *Azolla*. Por tanto, es importante establecer controles en las zonas adyacentes para asegurar el cumplimiento de la ley y excluir la posibilidad de que existan vías de entrada (por ejemplo, tiendas de plantas ornamentales, instalaciones agropecuarias, viveros, etc.).

3.2.1. Actuaciones para prevenir la entrada de la especie

3.2.1.1. Educación y formación ambiental

Cualquier protocolo de actuación sobre especies exóticas invasoras debe llevar aparejado una serie de medidas de carácter educacional, informativas y sensibilizadoras. Además de consideraciones comunes a todas las especies exóticas invasoras, las medidas deben tener en cuenta las condiciones particulares para cada zona de actuación y el objetivo genérico debe ser transmitir a la ciudadanía la importancia de la conservación de la diversidad y los impactos que supone la presencia del helecho de agua en los ecosistemas acuáticos. Así pues, las medidas correspondientes al presente protocolo deben ser dirigidas hacia los sectores económicos, sociales y ambientales vinculados con la *Azolla*, de manera directa o indirecta, considerando la transversalidad entre todos ellos como eje básico.

En todos los casos, la colaboración entre los sectores mencionados anteriormente y las administraciones implicadas (en todos los niveles) es de vital importancia para la consecución de los objetivos marcados, ya que la gestión sobre el helecho de agua no puede estar desvinculada de los territorios en los que no está presente actualmente. Se debe considerar, por tanto, la posibilidad de que a) la especie se desplace hacia ellas y b) que las actuaciones y las metodologías empleadas puedan afectar de diferentes maneras a territorios próximos o lejanos.

Sector agropecuario

El principal factor limitante que controla el crecimiento de *Azolla* y el principal responsable de que este helecho realice espectaculares invasiones es la concentración de **fósforo** disuelto en agua, siendo la agricultura y ganadería dos actividades que producen vertidos de nutrientes con altas concentraciones. Diversos estudios han puesto de manifiesto que esta planta comienza a comportarse como invasora cuando dicha concentración supera los 0,4 mg P/l. Además, al ser una especie nitrófila, una vez que aparece se ve favorecida por la eutrofización, colonizando rápidamente y por completo las zonas invadidas. Es por ello que **disminuir los vertidos con nutrientes a los cursos de agua y un mejor manejo agrícola y ganadero sería la mejor herramienta contra esta especie.**

La agricultura utiliza los productos fertilizantes con altas cantidades de fosfatos para aumentar la productividad de las cosechas. Estos compuestos -por medio de la escorrentía o infiltración- acaban en los cauces, embalses y zonas húmedas en general, que aumentan su nivel de fósforo, facilitando el crecimiento de *Azolla*. Esto hace disminuir la calidad del agua y, por tanto, tiene consecuencias negativas directas sobre la agricultura y ganadería, que dependen de dicho recurso. Por ello, se debe concienciar al sector en la importancia de reemplazar o disminuir el uso de fertilizantes con fosfato y mostrar los beneficios económicos y ambientales que dicha medida supone. Como consecuencia directa de esta medida, el helecho de agua verá dificultado su crecimiento y expansión y, además, supondrá un ahorro económico para los agricultores, así como una mejora en la calidad de las aguas. Ambos aspectos deben considerarse a la hora de abordar la problemática de la eutrofización de las aguas junto con el sector agrícola.

En el caso de la ganadería, los purines y desechos de los animales contienen altas cantidades de nitratos y de fosfatos. La llegada de estos desechos a los cursos de agua sin un tratamiento previo adecuado está prohibida por varias normativas. Sin embargo, la contaminación difusa e involuntaria (por arrastre o infiltración) hacia los

cursos de agua, con fuente en explotaciones ganaderas, también incrementa las posibilidades de eventos invasivos por parte de *Azolla*.

Es necesario evaluar la importancia real de este hecho en las diferentes regiones españolas y, en caso de encontrarse situaciones potencialmente problemáticas, sería necesario fomentar su control e impulsar el tratamiento y depuración de estos residuos orgánicos, para evitar su llegada a los cursos de agua. Resulta indispensable la concienciación de la población local dedicada a estos sectores, que debe ser consciente de la problemática y de los impactos que puede producir la invasión de esta especie, sobre el medio natural y sobre su propia actividad.

Esta campaña de concienciación debe ser continua a lo largo de todo el año puesto que las buenas prácticas deben integrarse en la gestión corriente de las explotaciones, pero debe intensificarse en la época crítica de desarrollo de la planta, donde la aparición de fósforo en el agua es un factor determinante para su explosión demográfica.

Agentes del medio natural

Los funcionarios que desempeñen funciones de policía en relación con el medio ambiente, independientemente de la denominación autonómica que tengan, son, junto con la población local, los mejores conocedores del territorio, así como de su flora y fauna. También, debido a su formación, son personal capacitado para transmitir esta problemática a la población en general y son indispensables para la detección temprana, al estar en contacto directo con los hábitats susceptibles de colonización por *Azolla*.

Además de ser Agentes de la Autoridad, poseen conocimiento de primera mano sobre las situaciones específicas de cada zona, incluyendo los aspectos sociales relacionados con propietarios de negocios y explotaciones y, en general, usuarios del medio natural.

Por tanto, deben formar parte de la planificación de las acciones concretas a llevar a cabo. En este sentido, es recomendable la formación específica de estos funcionarios en la problemática de *Azolla* y métodos de detección, así como establecer recomendaciones que ellos puedan transmitir a la población local. Esta formación se debería realizar cada temporada, al final del invierno, antes de que la siguiente subida de las temperaturas haga posible la aparición de *Azolla* en los cursos fluviales.

Además, deberían ser partícipes en la recepción de las observaciones de *Azolla* realizadas por los ciudadanos, para comprobar su veracidad y transmitir la información contrastada hacia los organismos competentes de las administraciones. De esta manera, se podrán activar las acciones y procedimientos de control y posible erradicación de la *Azolla* más rápidamente.

Por último, en relación con su labor inspectora, están facultados para realizar la vigilancia y control de la entrada, transporte y venta de especies, una de las principales vías de entrada de *Azolla* en España (García-Murillo, 2007).

Productores y lugares de venta de plantas ornamentales

La vía principal de entrada de *Azolla* ha sido su cultivo para uso ornamental en acuariofilia y jardinería. Su escape al medio natural -por accidente o por imprudencia- puede derivar en invasiones de estos medios. Dado que todo el género *Azolla* ha sido

incluido en el Catálogo español de especies exóticas invasoras (Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto), tanto la posesión como el comercio de ejemplares vivos, restos o propágulos, que pudieran sobrevivir o reproducirse de *Azolla* está prohibida en España (artículo 64.5 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad). Por ello, son necesarias acciones de información a los comerciantes -incluyendo productores, distribuidores y responsables de venta- y, muy especialmente, de control por parte de las autoridades competentes de su posible comercialización ilegal.

Usuarios vinculados a cursos fluviales y público en general

Los ciudadanos pueden jugar un papel muy importante en informar a las autoridades tras la detección de esta especie. Se hace por tanto importante educar a la ciudadanía, y en especial a aquellos que tienen una relación importante con el medio natural (pescadores, empresas de turismo activo, fotógrafos de naturaleza, etc.) sobre el impacto que produce *Azolla* en las áreas invadidas. En estas acciones educativas, la principal información a transmitir es la problemática medioambiental y social que causan las invasiones, incluyendo los costes de su gestión y las buenas prácticas a realizar, sin olvidar información de contacto en caso de su observación. Esta información se puede realizar mediante las siguientes vías de comunicación:

- **Charlas informativas** durante los meses de invierno y primavera explicando la problemática por medio de técnicos especialistas a los siguientes grupos objetivo: agricultores y ganaderos, funcionarios y agentes encargados del territorio, colectivos o asociaciones ambientalistas y ONG, ayuntamientos y mancomunidades, productores, distribuidores y lugares de venta de plantas ornamentales y escuelas.

- **Folletos informativos**, elementos informativos con la información antes mencionada en varios idiomas, destacando el portugués en las comunidades autónomas fronterizas. Se considera de interés su distribución en centros de interpretación de naturaleza, ayuntamientos y oficinas de turismo. Se deberán facilitar también a empresas o asociaciones de turismo o de actividades de ocio al aire libre como son las actividades en la naturaleza, actividades deportivas, fotográficas, pesca, etc.

- **Señalética** con esta misma información, a instalar en los sitios de mayor afluencia de público, como embarcaderos, miradores u otros puntos de interés local que coincidan con zonas cercanas a los ríos o charcas donde potencialmente se pueda desarrollar esta planta. También deben presentarse en varios idiomas, destacando el portugués en las comunidades autónomas fronterizas.

3.3. Medidas de actuación

Si las medias de prevención han fallado y la especie está ya presente en una masa de agua, se debe actuar de inmediato, valorando todas las posibilidades en función de las circunstancias del lugar y la gravedad de la situación.

3.3.1. Detección temprana y actuación inmediata

Cuando las poblaciones aún son pequeñas o se limitan a un área poco extensa es posible actuar para prevenir su establecimiento y la expansión a otras zonas.

La detección temprana debe basarse en un sistema de vigilancia continuada, realizado por personal capacitado y con equipos y recursos suficientes, con objeto de detectar las plantas en un bajo nivel de densidad en sitios con alto riesgo de colonización masiva y, sobre todo, en áreas de alto valor para la conservación y con hábitats adecuados para *Azolla*. El tiempo que transcurre entre la detección temprana y la implementación de una respuesta es crítico. Es por ello que se debe implementar un plan de contingencia que debe indicar qué instituciones deben ser contactadas para agilizar el proceso de autorización para ofrecer una respuesta rápida y unas instrucciones exactas sobre cómo proceder. Este aspecto se debe desarrollar considerando el marco normativo vigente en la actualidad, puesto que existen competencias concurrentes entre diferentes administraciones.

En caso de detección temprana, la extracción manual y la colocación de barreras flotantes deben valorarse como métodos a aplicar, con la necesaria vigilancia posterior continua de la zona, para evitar cualquier reaparición del helecho.

3.3.1.1. Sistema de vigilancia y seguimiento

Para el desarrollo del sistema de vigilancia será necesario realizar previamente un mapa de riesgo de invasión para los cursos de agua que tienen o pueden tener *Azolla* en cada Comunidad Autónoma. Para ello es necesario realizar una cartografía mediante técnicas de interpolación con Sistemas de Información Geográfica para cada una de las variables físico-químicas del agua de la zona seleccionada, así como de los diferentes factores ambientales y antrópicos que condicionan su expansión. Podrían analizarse en cada masa de agua la presencia o no de la especie objetivo, los usos del suelo y estacionalidad del cauce y realizar un seguimiento de varios parámetros de la calidad del agua: nitratos, fosfatos, pH, Temperatura del agua, Temperatura ambiental, conductividad y radiación solar.

Una vez construida la cartografía de las diferentes variables, se obtendrá por métodos de superposición de los anteriores, el mapa de riesgo de la especie donde se establecerá una clasificación semicuantitativa de los cursos en función de su nivel de riesgo de afectación (cursos con muy alto riesgo, con alto riesgo, con riesgo medio-alto, riesgo medio y riesgo bajo).

Serán los cursos de muy alto riesgo y de alto riesgo sobre los que habrá que realizar un seguimiento importante, que consistirá en la realización de visitas quincenales o mensuales, dependiendo de la fecha de realización, entre los meses de febrero y agosto. Es importante tener en cuenta que, además de los cursos de agua, se debe realizar un seguimiento de charcas o pequeños embalses próximos a los cursos de agua.

El seguimiento básico consistirá en la inspección visual de los cursos de agua seleccionados en 3 tramos del cauce, de 1000 m de longitud, correspondientes con el curso alto, medio y bajo del mismo. Se recorrerán a pie las orillas de cada tramo anotando las coordenadas de los puntos de inicio y fin mediante GPS. En las visitas a las masas de agua, además se recopilará la información sobre los parámetros de la ficha de campo (Véase Anejo I) y se realizará la cartografía de la presencia de la especie.

Por otro lado, de manera complementaria a las labores de inspección visual, se recomienda uso de herramientas de teledetección con imágenes satélite obtenidas cada pocos días (ver metodología explicada en Díaz-Delgado *et al*., 2010 y Espinar *et al*., 2015), vuelo de drones y detección mediante la recogida y análisis de ADN ambiental, una metodología que ha resultado útil para descubrir, conocer y controlar poblaciones de algunas especies de plantas acuáticas exóticas invasoras (Anglès d'Auriac *et al*., 2019; Gantz *et al*., 2018).

Además de estos métodos de detección, no se debe olvidar el beneficio que puede suponer la obtención de información procedente de ciencia ciudadana (Crall *et al*., 2010). En las múltiples plataformas existentes, observadores externos a las administraciones incorporan sus datos sobre especies exóticas invasoras. Estas plataformas pueden llegar a ser de gran utilidad para la detección, control y erradicación temprana de especies, sobre todo en combinación con otros métodos. Aun así, se debe actuar con cautela al emplear dicha información y es necesario llevar a cabo un proceso de validación, filtrado y comprobación de las observaciones por personal cualificado, para no incluir errores en las bases de datos (Genet y Sargent, 2003). Para paliar este problema es recomendable llevar a cabo actividades de formación y entrenamiento del personal voluntario, con el objeto de que puedan participar en la detección de *Azolla*. De esta manera se cumple un doble objetivo: incrementar el número de observadores y concienciar a la población.

En España ya existen algunas experiencias al respecto. Así, un estudio desarrollado en la Ría de Avilés (Miralles *et al*., 2016) demostró cómo se puede llegar a controlar al mejillón *Xenostrobus securis* mediante la participación combinada de la ciudadanía, investigadores y la recogida y análisis de ADN ambiental.

3.3.2. Control y gestión de las poblaciones

Si la detección se realiza de forma temprana, y son pequeñas superficies de *Azolla*, podrían realizarse actuaciones puntuales de retirada que impidieran su posterior reproducción, principalmente en masas de agua con altos valores ambientales o de masas de agua destinadas al consumo humano. Posteriormente se debe realizar el seguimiento de la zona para confirmar la eliminación completa y la no reaparición de *Azolla*.

Cuando ya existe una población importante de *Azolla*, se debe valorar si la situación permite implementar un programa de control, valorando el coste/beneficio de la actuación. La erradicación –eliminación de toda la invasión en todos los estadios biológicos en el área que se está gestionando- es muy complicada en esta fase de invasión según demuestra la experiencia existente en la gestión de esta especie. No obstante, las actuaciones de control, si están bien planteadas, servirán para mitigar los impactos de esta especie invasora.

La invasión de *Azolla* se ha tratado de controlar con técnicas diferentes, contemplando métodos físicos, químicos y biológicos. El género *Azolla* incluye especies con gran capacidad de proliferación y además muy frágiles, lo que hace que se rompan con facilidad, dando lugar a numerosos fragmentos que difícilmente podrán ser retirados del agua.

Para evitar la proliferación de la *Azolla* se hace imprescindible el establecimiento de una zona de amortiguación en las cuencas de alimentación de embalses, en los que las labores agrícolas y ganaderas deben ser reguladas de manera restrictiva, de modo que se disminuya o elimine completamente el aporte de nutrientes necesarios para la

supervivencia y desarrollo de *Azolla*. En este caso cobra gran importancia la aplicación de modelos como el SWAT (Soil and Water Assessment Tool, Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua; Arnold *et al*., 1998) que permiten optimizar la producción, planificar las actividades agrícolas y la gestión de los insumos de producción considerando sus impactos medioambientales, en concreto, sobre las cuencas hidrográficas a través de la contaminación difusa por nitrógeno y fósforo (Malagó *et al*., 2017).

Las opciones de control para *A. filiculoides* son, según Hussner (2010), muy limitadas debido a su capacidad de duplicar el área ocupada cada 7-10 días. El control mecánico es poco práctico. Hill y Cilliers (1999) consideraron tanto los métodos físicos (manual o mecánico) como el químico (control con herbicida) como indeseables. Sólo se han podido eliminar pequeñas poblaciones de *Azolla* de forma manual utilizando redes de malla fina. Barreto *et al.,* (2000) describieron el control biológico de *Azolla* con hongos. A continuación, se describen estos métodos de forma resumida y se presentan los resultados de su aplicación en diferentes lugares.

3.3.2.1. Métodos físicos

Entre los métodos físicos más conocidos para la eliminación de *Azolla* se encuentra la retirada manual desde tierra o embarcaciones, usando para ello herramientas manuales y redes con luz de malla variable en función del desarrollo del helecho en la zona. La retirada mecánica mediante maquinaria pesada y bombas de succión también ha sido empleada para la eliminación de esta especie cuando la invasión presentaba grandes dimensiones.

En ambos casos es necesario llevar a cabo la colocación previa de barreras flotantes y parcialmente sumergidas, para impedir el transporte accidental de *Azolla* aguas abajo durante las labores de extracción (Haury *et al*., 2010; Hussner *et al*., 2017). Este sistema se ha mostrado igualmente eficaz en Extremadura para contener a la *Azolla* y evitar su proliferación más allá de la masa afectada.

En poblaciones existentes sobre suelos húmedos, además de la retirada manual y mecánica ya comentada, se han llevado a cabo técnicas de incineración y, para la retirada de las esporas, se han utilizado retroexcavadoras para extraer la capa de sustrato susceptible de contenerlas. Estos métodos, no obstante, **no se recomiendan** por el fuerte impacto que puede producir en las especies autóctonas, puesto que son pocos selectivos. Además, tras estas actuaciones resulta necesario realizar la restauración o rehabilitación de las orillas, lo que supone un importante coste adicional.

Como complemento a estos métodos físicos, se han sugerido otras técnicas que actúan sobre la capacidad del medio de acoger estas plantas, modificando el ambiente para que resulte desfavorable para su crecimiento. Por ejemplo, la desecación estival, que provoca estrés hídrico en la planta, además de estrés salino. *Azolla* es altamente sensible a los cambios de humedad ambiental y la tasa de crecimiento decrece cuando la salinidad aumenta. El aumento de la turbulencia de las aguas o del grado de sombreo también se han considerado, dado que *Azolla* no tolera cursos rápidos y baja iluminación. Pero estas técnicas generalmente son poco selectivas, incidiendo de manera similar sobre las especies nativas, por lo que deberían utilizarse en poblaciones muy densas donde prácticamente sólo crezca la especie a eliminar. Además, desde una perspectiva realista, la desecación solo podría llevarse a cabo en masas de agua aisladas y de tamaño menor. Serían, por tanto, técnicas poco viables, sobre todo en invasiones extensas.

Por último, los resultados obtenidos en otras experiencias llevadas a cabo tanto en España (por ejemplo, en la Comunidad Valenciana) como en otras partes del mundo, indican que los métodos mecánicos de erradicación y control no resultan efectivos a largo plazo, pues la fragilidad de las especies del género *Azolla* propician su ruptura, formando numerosos pequeños fragmentos que pueden rebrotar con facilidad (Hill, 1997). El restablecimiento a partir de estos pequeños grupos de individuos requiere repetidos programas de control en el tiempo.

Así, debido a que una vez *Azolla* coloniza una zona tiende a persistir, y que está ligada a condiciones de eutrofia, los métodos de control físico deberían considerarse y aplicarse siempre **en combinación** con la mejor herramienta conocida para la lucha contra esta especie: la minimización de los vertidos en las masas de agua para restablecer los parámetros físico-químicos de las zonas afectadas, disminuyendo las concentraciones de vertidos con nutrientes al río mediante un mejor manejo agrícola y ganadero.

No obstante, en caso de que se retirara la especie de forma manual o mecánica de pequeñas masas de agua cobra gran importancia la gestión de la *Azolla* retirada, para no dispersarla consecuencia de la esporada que produzca. Para ello, se procederá de la siguiente forma:

a) Los restos extraídos se acumularán en sacos o bolsas de plástico herméticamente cerradas, utilizando doble capa en el caso que fuera necesario para su correcto sellado.

b) El transporte de los restos desde el punto de extracción hasta las zonas habilitadas para la desecación e incineración se realizará en remolques sellados con plástico, para evitar cualquier pérdida de agua durante el transporte.

c) El lugar donde se sequen los restos será un lugar especialmente habilitado para ello, alejado de núcleos urbanos y de los cauces fluviales, con nula posibilidad de escorrentía para evitar la reintroducción de agua cargada de esporas a esta especie. Esta zona estará cercada o protegida a fin de que no exista posibilidad de acceso por parte de personas o de fauna silvestre o doméstica. La zona y fecha tendrán que ser compatibles con la quema de restos agrícolas, ya que en este mismo punto se procederá, pasado el periodo de secado, a la destrucción de la materia orgánica mediante combustión. La desecación de la masa de *Azolla*, que no tendrá un grosor superior a 50 cm, con objeto de acelerar la desecación, se realizará durante 15 días a temperatura ambiente en zonas soleadas. Se deberá remover periódicamente para facilitar la desecación homogénea de toda la masa.

d) En la incineración pueden utilizarse acelerantes para el fuego para asegurar una correcta combustión de los restos de *Azolla*. La quema se debe producir bajo la supervisión de funcionarios con funciones de vigilancia en quemas de este tipo o cuerpo de bomberos y deberán cumplirse las normas preventivas establecidas para las quemas agrícolas.

e) Los restos de la combustión se enterrarán o cubrirán con tierra para evitar contaminaciones futuras.

3.3.2.2. Método químico

En Sudáfrica se aplicó glifosato en 1997 de forma continuada. Se consiguió eliminar la invasión a corto plazo, si bien con un elevado impacto para otras poblaciones,

tanto de plantas como de animales. El uso del glifosato está aprobado actualmente en la UE hasta diciembre 2022. Este tipo de control químico es rápido, pero requiere una continua aplicación debido a que las esporas de *Azolla* germinan constantemente, lo que a la larga hace inviable el mantenimiento de estos tratamientos.

Teniendo en cuenta los efectos negativos que supone la aplicación de herbicidas, tanto sobre la flora y fauna local (lo que hace que el método sea incompatible con los criterios de conservación, en especial en zonas protegidas), como sobre la salud humana y la calidad de las aguas, **no se debe plantear la aplicación de métodos químicos** en todo tipo de masas de aguas, para ésta u otras especies. Además, la legislación nacional **no permite la aplicación directa de estos productos fitosanitarios en masas de agua o humedales** (Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios).

3.3.2.3. Método biológico

Consiste en la introducción de un agente biológico externo que incida sobre el crecimiento, reproducción o vigor de la planta invasora y que permita reducir su expansión.

En varios lugares del mundo se ha observado que el coleóptero *Stenopelmus rufinasus*, un parásito exclusivo de *A. filiculoides* (Hill, 1999) proveniente de Norteamérica, ejerce un control eficaz sobre este helecho. De hecho, Hill (1997), Hill y Cilliers (1999), McConnachie *et al.,* (2003, 2004) y Cilliers *et al.,* (2003) describieron como exitoso el control biológico con este gorgojo en Sudáfrica[1], donde fue deliberadamente introducido para controlar la población de *A. filiculoides* que cubría superficies grandes de masas de agua. Sin embargo, cabe destacar que el insecto no se estableció en todas las masas en las que fue liberado y que en 6 de los sitios en los que se estableció no se observaron reducciones significativas en la abundancia de *Azolla* (Hill, 1999).

S. rufinasus ha sido introducido de manera fortuita o accidental en diferentes países del mundo, como Reino Unido o España. En la Península Ibérica fue recolectado por primera vez en el año 2002, cerca del río Guadiana a su paso por Ciudad Real, si bien se desconocen las razones de su introducción (Carrillo *et al.,* 2005), aunque parece probable que llegara asociado a la importación de la propia *Azolla*. En Andalucía fue citado en el año 2006[2] y en el País Vasco se encontró en los humedales de Salburua desde el año 2014 sobre masas del helecho (Asociación Vasca de Entomología, 2014).

La biología de *S. rufinasus* y su protocolo de utilización de se describe en Hill & Cilliers (1999) y Cilliers *et al*. (2003). De manera resumida, la hembra pone uno de los huevos que produce (entre 128 y 474) en la hoja, que eclosiona en unos 4 días. Las larvas se alimentan de manera voraz sobre *Azolla*. Después de pupar surge el adulto (el proceso dura unos 16-23 días), que también se alimenta sobre el helecho, hasta que muere (unos dos meses desde que emerge).

El estudio sobre la liberación se llevó a cabo en Pretoria. Se produjo una primera liberación de 900 ejemplares (importados desde Estados Unidos) en diciembre de

[1] http://www.fwr.org/wrcsa/kv15805.htm
[2] http://www.biolveg.uma.es/links/Especies_exoticas_invasoras_Andalucia.pdf

1997, en una pequeña presa de 1 ha, que estaba completamente cubierta por *Azolla*. Según el autor del estudio, el tapete de *Azolla* colapsó en los dos meses siguientes, Además, de una muestra de 2 m^2 de helecho en descomposición contabilizaron 30.000 insectos.

En una segunda fase del estudio (McConnachie *et al*., 2004), se capturaron parejas copulando sobre la *Azolla,* liberando en torno a 100 adultos (mitad de cada sexo) por cada uno de los 112 lugares objeto de experimento. Los autores del estudio consideran que esa cantidad de ejemplares es suficiente para establecer una población, aunque no aportan datos concretos. Un año después ya se había producido la desaparición de *Azolla* en 72 de esos lugares y la dispersión del insecto a 300 km, algo que concuerda con lo observado en algunos lugares de España. Del resto de lugares, o el agua había arrastrado a la *Azolla* o no se pudieron visitar o los autores consideraron que era demasiad pronto para evaluar. En el 90% de los lugares donde se produjo la reaparición de *Azolla* (7% de los iniciales), el insecto también reapareció y se produjo el control del helecho.

Al analizar la metodología empleada, es necesario decir que habría sido conveniente llevar a cabo un diseño experimental tipo BACI (Before After Control Impact), ya que todos los lugares son experimentales (con liberación de *S. rufinasus*) y no se puede descartar la ausencia de factores incontrolados que hayan podido afectar a la reducción observada (por ejemplo, la época del año), sin la presencia del insecto. Un diseño correcto debería haber considerado el seguimiento de masas del helecho en las que no se hubiera llevado a cabo la liberación de la especie. Es conveniente llevar a cabo este tipo de ensayos para evaluar la eficacia real del control biológico con *S. rufinasus*.

3.3.2.4. Actuaciones realizadas por la Generalitat Valenciana en materia de control biológico de A. filiculoides.

En la Comunidad Valenciana *A. filiculoides* se detectó en 2008 y en 2009, y se confirmó que se encontraba presente en cinco marjales. Desde el primer momento, se iniciaron actuaciones para eliminar al helecho acuático, como parte de la estrategia valenciana para el control temprano de especies invasoras. En los trabajos emprendidos se recurrió a métodos manuales y mecánicos, pero sin resultados positivos, a pesar de la retirada de aproximadamente 28 toneladas en peso fresco. Cuando parecía que ya nada podía frenar la expansión, en 2011 se observó una súbita disminución del área total ocupada por *A. filiculoides*, hasta el punto de quedar reducida a menos de una hectárea. A ello hay que añadir la desaparición de dos de las poblaciones conocidas. El colapso generalizado de las poblaciones de *A. filiculoides* en marjales valencianas coincidió con la localización en el medio natural de *S. rufinasus* (**Figura 3**) identificado por Richard Shaw (CABI) en 2008 en el PN L'Albufera.



Figura 3. Adulto de *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) de unos 2 mm de tamaño. Fuente: Generalitat Valenciana. Servicio de Vida Silvestre.

La elevada intensidad con la que adultos, y particularmente las larvas en su 3er estadio, se alimentan de los frondes de *A. filiculoides* induce un daño generalizado en sus poblaciones y su colapso. No obstante, éstas pueden recuperarse a partir de fragmentos no atacados o esporas, hasta que nuevamente son sometidas por el insecto (Deltoro *et al.,* 2013). Se genera de este modo una dinámica poblacional de dientes de sierra en la que las poblaciones del helecho exótico fluctúan en función de la intensidad del control al que se ven sometidas por *S. rufinasus*. En este sentido, se ha demostrado que el impacto de *S. rufinasus* sobre la población de *A. filiculoides* es directamente proporcional a la población del insecto (Reeder *et al.,* 2018) medida en individuos/m^2.

La **Figura 4** muestra la superficie ocupada por esta especie en m^2 y cada color representa un humedal (el más invadido, en verde, l´Albufera). Las estimaciones de la superficie ocupada corresponden a primavera-verano, época más favorable para *Azolla*.

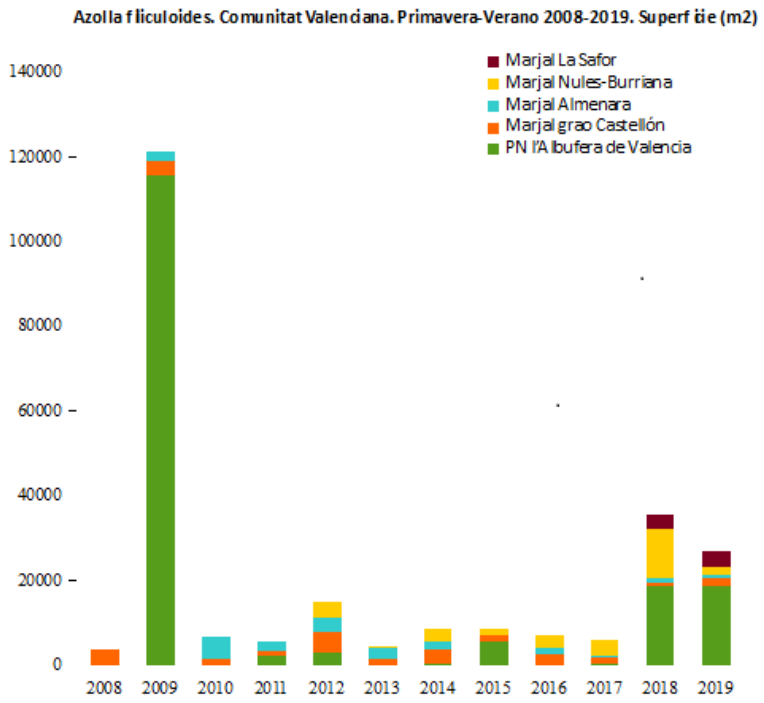


Figura 4. Evolución de las poblaciones de *A. filiculoides* en la Comunidad Valenciana. Fuente: Generalitat Valenciana, Servicio de Vida Silvestre. Programa de seguimiento anual de especies.

El seguimiento en los cinco humedales valencianos con presencia de *A. filiculoides* y *S. rufinasus* muestra que las poblaciones del helecho invasor oscilan de año en año sin alcanzar su máximo poblacional registrado en 2009, posiblemente como consecuencia del control al que las somete el insecto.

Una evidencia adicional del control que ejerce *S. rufinasus* sobre las poblaciones de *A. filiculoides* en la Comunidad Valenciana se obtuvo en una experiencia de traslocación del insecto desde el marjal d'Almenara, en el sur de la provincia de Castellón, al marjal de Nules, situado 10 km al norte y donde el helecho exótico ocupaba una superficie creciente en ausencia del su parásito específico (**Figura 5a**). Para evaluar el potencial de control del insecto, en mayo de 2012 se traslocaron 5 m^2 de *A. filiculoides* desde el marjal d'Almenara a un canal aislado del marjal de Nules. La densidad de insectos en la muestra introducida era de 1.200 individuos/m^2. En agosto de 2012, se constató una reducción del 50% de la cobertura del helecho, que fue sustituido por *Lemna gibba* y se confirmó la presencia de *S. rufinasus* a razón de 1.875 adultos/m^2. Posteriormente, en enero de 2013 *A. filiculoides* únicamente se presentaba en la zona de introducción de manera puntual (**Figura 5b**).



Figura 5a. Mayo 2012: Aspecto del canal del Marjal del Nules previo a la introducción de *S. rufinasus* con el 100% de cobertura de *A. filiculoides*. Fuente: Generalitat Valenciana. Servicio de Vida silvestre.



Figura 5b. Enero 2013. Aspecto del mismo canal 7 meses después. *A. filiculoides* aparece de manera puntual y ha sido remplazada por *Lemna gibba*. Fuente: Generalitat Valenciana. Servicio de Vida Silvestre.

Los resultados del seguimiento de las poblaciones de *A. filiculoides* en las zonas húmedas de la Comunidad Valenciana, conjugados con los de la experiencia de traslocación de *S. rufinasus* en el marjal de Nules sugieren que el insecto curculiónido es capaz de controlar eficazmente la invasión por *A. filiculoides* en las condiciones ambientales de la Comunidad Valenciana.

Otros aspectos destacables del control de *A. filiculoides* por *S. rufinasus* constatados en la Comunidad Valenciana han sido:

- Control de la especie invasora sostenido en el tiempo, sin necesidad de intervenciones posteriores (por ejemplo, refuerzo de las poblaciones del insecto, redistribución) salvo en casos puntuales.

- Buena capacidad de dispersión del insecto, en línea con la conocida elevada movilidad de los adultos y capacidad de búsqueda activa de nuevas poblaciones de *A. filiculoides*, una vez que su fuente de alimentación se agota en una localidad.

- Ausencia de daños colaterales a otras especies catalogadas (EPE o VU) de flora autóctona acuática, como pone de manifiesto el seguimiento anual o bianual que se realiza de todas las especies incluidas en las categorías indicadas.

- Ausencia de molestias a la ciudadanía o de interferencias con actividades económicas vinculadas al medio natural provocadas por la presencia del insecto.

Por lo tanto, estos resultados aconsejan valorar la opción del control biológico en poblaciones ya establecidas de *Azolla* como única opción viable, desde el punto de vista ecológico y económico, así como conocer mejor su comportamiento en el medio natural y eventualmente realizar análisis de riesgos para valorar su posible traslocación.

4. REFERENCIAS

ANDREU, J., & VILÀ, M. (2007). Análisis de la gestión de las plantas exóticas en los espacios naturales españoles. Revista Ecosistemas, 16(3), 109-124.

ANGLÈS D'AURIAC, M. B., STRAND, D. A., MJELDE, M., DEMARS, B. O., & THAULOW, J. (2019). Detection of an invasive aquatic plant in natural water bodies using environmental DNA. PloS one, 14(7), e0219700.

ARNOLD, J. G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R. S., & WILLIAMS, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73-89.

ASOCIACIÓN VASCA DE ENTOMOLOGÍA (2014). Informe sobre la presencia de *stenopelmus rufinasus* gyllenhal, 1835 (coleoptera, erirhinidae, erirhininae, stenopelmini) en los Humedales de Salburua. año 2014.

BARRETO, R., CHARUDATTAN, R., POMELLA, A., & HANADA, R. (2000). Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. Crop Protection, 19(8-10), 697-703.

CARRAPICO, F. (2010). *Azolla* as a Superorganism. Its Implication in Symbiotic Studies. Symbioses and Stress Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, 17:225-241.

CARRILLO, J. F., CARRILLO, E. F., & ALONSO-ZARAZAGA, M. A. (2005). Primera cita de *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, 1835 en la Península Ibérica (Coleoptera, Erirhinidae). *Graellsia*, *61*(1), 139-140.

CILLIERS, C. J., HILL, M. P., OGWANG, J. A., & AJUONU, O. (2003). Aquatic weeds in Africa and their control. *Biological control in IPM systems in Africa*, 161-178.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA (CHG). (2018). Protocolo de actuación entre España y Portugal para el control del camalote en el río Guadiana. Proyecto ACEC. https://www.chguadiana.es/cuenca-hidrografica/especies-exoticas-invasoras/actuaciones/actuaciones-contra-el-camalote-o-jacinto-de-agua/proyecto-poctep-0353aceca4e

CRALL, A. W., NEWMAN, G. J., JARNEVICH, C. S., STOHLGREN, T. J., WALLER, D. M., & GRAHAM, J. (2010). Improving and integrating data on invasive species collected by citizen scientists. *Biological Invasions*, 12(10), 3419-3428.

DELTORO, V., PEÑA, C. SEBASTIÁN A. & JIMÉNEZ J. 2013. Un gorgojo logra detener a un helecho acuático invasor. *Quercus* 328.

DÍAZ-DELGADO, R., ARAGONÉS, D., AMEZTOY, I., & BUSTAMANTE, J. (2010). Monitoring marsh dynamics through remote sensing. In: *Conservation Monitoring in Freshwater Habitats* (pp. 375-386). Springer, Dordrecht.

ESPINAR, J. L., DÍAZ-DELGADO, R., BRAVO, M. A., & VILÀ, M. (2015). Linking *Azolla* filiculoides invasion to increased winter temperatures in the Doñana marshland (SW Spain). *Aquatic Invasions,* 10(1), 17–24.

GANTZ, C. A., RENSHAW, M. A., ERICKSON, D., LODGE, D. M., & EGAN, S. P. (2018). Environmental DNA detection of aquatic invasive plants in lab mesocosm and natural field conditions. *Biological Invasions*, 20(9), 2535-2552.

GARCÍA-MURILLO, P., FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M. D. R., CIRUJANO BRACAMONTE, S., SOUSA MARTÍN, A., & ESPINAR, J. M. (2006). The invasion of Doñana National Park (SW Spain) by the mosquito fern (*Azolla filiculoides* Lam.). *limnetica*, *26*(2), 243-250.

GENET, K. S. & SARGENT, L. G. (2003). Evaluation of methods and data quality from a volunteer-hased amphihian call survey. *Wildl Soc Bull* 31:703–714.

GRATWICKE, B. & MARSHALL, B. E. (2001). The impact of *Azolla filiculoides* Lam. On animal biodiversity in streams in Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, 38, 1-4.

HAURY, J., MATRAT, R., HUDIN, S., LAMBERT, E., ANRAS, L., ALAIN DUTARTRE, A., ... & MARTINANT, S. (2010). Manuel de gestion des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne.

HILL M. P. (1997). The Potential for the Biological Control of the Floating Aquatic Fern, *Azolla filiculoides* Lamarck (red water fern / rooivaring) in South Africa. Report No. KV 100/97. Pretoria, South Africa: Water Research Commission.

HILL, M. P. (1999). Biological control of red water fern, *Azolla filiculoides* Lamarck (Pteridophyta: Azollaceae), in South Africa. Biological control of red water fern, Azolla filiculoides Lamarck (Pteridophyta: Azollaceae), in South Africa., 119-124.

HILL, M. P. & CILLIERS, C. J. (1999). *Azolla filiculoides* Lamarck (Pteridophyta: Azollaceae), its status in South Africa and control. *Hydrobiologia*, *415*, 203-206.

HILL, M. P. (2020). *Azolla filiculoides*. In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc.

HUSSNER, A. (2010): NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Azolla filiculoides*. – From: Online Database of the European Network on Invasive Alien Species – NOBANIS www.nobanis.org. Acceso: 25/05/2020.

Hussner, A., Stiers, I., Verhofstad, M. J. J. M., Bakker, E. S., Grutters, B. M. C., Haury, J., ... & Anderson, L. W. J. (2017). Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. *Aquatic Botany*, *136*, 112-137.

JUNTA DE EXTREMADURA. 2015. PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN, DETECCIÓN TEMPRANA Y ERRADICACIÓN Y CONTROL DE *Azolla filiculoides* Lam. Proyecto LIFE10 NAT/ES/582 "Lucha contra especies invasoras en las cuencas hidrográficas del tajo y del Guadiana en la Península Ibérica" (LIFE INVASEP)

LUMPKIN, T. A. & PLUCKNETT, D. L. (1980). *Azolla: botany, physiology, and use as a green manure. Economic Botany*, 34(2), 111-153.

LUMPKIN, T. A. & PLUCKNETT, D. L. (1982). *Azolla* as a green manure: Use and Management in crop production. Westview Press, Inc.

MALAGÓ, A., BOURAOUI, F., VIGIAK, O., GRIZZETTI, B., & PASTORI, M. (2017). Modelling water and nutrient fluxes in the Danube River Basin with SWAT. Science of the Total Environment, *603*, 196-218.

MCCONNACHIE, A. J., DE WIT, M. P., HILL, M. P., BYRNE, M. J. (2003). Economic evaluation of the successful biological control of *Azolla filiculoides* in South Africa. Biological Control, 28, 25-32.

MCCONNACHIE, A. J., HILL, M. P., & BYRNE, M. J. (2004). Field assessment of a frond-feeding weevil, a successful biological control agent of red waterfern, *Azolla filiculoides*, in southern Africa. Biological control, 29(3), 326-331.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (MITECO). Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras. Recurso "On line". https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/azollaspp_tcm30-439630.pdf Acceso: 16/10/2020

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (MITECO). (2019) Invasive Alien Species Report. http://cdr.eionet.europa.eu/es/eu/ias/envxjdxaq Acceso: 10/07/2020

MIRALLES, L., DOPICO, E., DEVLO-DELVA, F., & GARCIA-VAZQUEZ, E. (2016). Controlling populations of invasive Pygmy mussel (*Xenostrobus securis*) through citizen science and environmental DNA. Marine Pollution Bulletin, 110(1), 127-132.

PEREIRA, A. L., TEIXEIRA, G., SEVINATE-PINTO, I., ANTUNES, T., & CARRAPIÇO, F. (2001). Taxonomic re-evaluation of the *Azolla* genus in Portugal. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 135(3), 285-294.

REEDER, E. T. G., BACON, M. J., CAIDEN, R. J., BULLOSK, P. & GONZÁLEZ-MORENO, R. H. (2018). Effect of population density of the Azolla weevil (Stenopelmus rufinasus) on the surface cover of the water fern (*Azolla filiculoides*) in the UK. Biologial control, 63:185–192.

SZCZESNIAK, E., BLACHUTA, J., KRUKOWSKI, M. & PICINSKA-FALTYNOWICZ, J. (2009). Distribution of Azolla filiculoides Lam.[Azollaceae] in Poland. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 78(3), 241-246.

ANEJO 1: EJEMPLO DE FICHA DE CAMPO

FICHA DE CAMPO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE AZOLLA FILICULOIDES

Masa de agua: _____ Fecha: _____ Coordenadas inicio: _____
Cuenca: _____ Hora: _____ Coordenadas fin: _____
Municipio: _____ Código Tramo: _____
Muestreador: _____

PRESENCIA DE AZOLLA FILICULOIDES

Presencia de Azolla: SÍ / NO

Código Población: Coordenadas:

Dimensión (m^2):
Profundidad (cm):
Morfología:
Estado fenológico:
Vegetación asociada:

Cobertura:		
	1	Individuos aislados
	2	1-10%
	3	10-50%
	4	50-70%
	5	>70%

Toma de muestra: SÍ / NO Código de muestra:
Fotografías:

Código Población: Coordenadas:

Dimensión (m^2):
Profundidad (cm):
Morfología:
Estado fenológico:
Vegetación asociada:

Cobertura:		
	1	Individuos aislados
	2	1-10%
	3	10-50%
	4	50-70%
	5	>70%

Toma de muestra: SÍ / NO Código de muestra:
Fotografías:

Código Población: Coordenadas:

Dimensión (m^2):
Profundidad (cm):
Morfología:
Estado fenológico:
Vegetación asociada:

Cobertura:		
	1	Individuos aislados
	2	1-10%
	3	10-50%
	4	50-70%
	5	>70%

Toma de muestra: SÍ / NO Código de muestra:
Fotografías:

CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE

Temperatura ambiental (ºC):

Grado de iluminación: 1 Alto; 2 Medio; 3 Bajo; 4 Muy bajo

Corriente: 1 Estancadas; 2 Lentas; 3 Rápidas

Continuidad: 1 Continuas; 2 Discontinuas

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA

Código Muestra:	Coordenadas:	
Temperatura (ºC):	pH:	Conductividad (µS/cm):
Oxígeno disuelto (mg/l):	Oxígeno disuelto (%):	Fósforo (mg/l):
Nitratos (mg/l):	Nitritos (mg/l):	

Código Muestra:	Coordenadas:	
Temperatura (ºC):	pH:	Conductividad (µS/cm):
Oxígeno disuelto (mg/l):	Oxígeno disuelto (%):	Fósforo (mg/l):
Nitratos (mg/l):	Nitritos (mg/l):	

OBSERVACIONES

Ficha de campo. Fuente: Junta de Extremadura. 2015. PROTOCOLOS DE PREVENCIÓN, DETECCIÓN TEMPRANA Y ERRADICACIÓN Y CONTROL DE *Azolla filiculoides* Lam. Proyecto LIFE10 NAT/ES/582 “Lucha contra especies invasoras en las cuencas hidrográficas del tajo y del Guadiana en la Península Ibérica” (LIFE INVASEP)